



HAL
open science

Variations articulatoires en début de constituants prosodiques de différents niveaux en français

Cécile Fougeron

► **To cite this version:**

Cécile Fougeron. Variations articulatoires en début de constituants prosodiques de différents niveaux en français. Linguistique. Université Paris 3 - Sorbonne Nouvelle, 1998. Français. NNT: . tel-02926017

HAL Id: tel-02926017

<https://hal.science/tel-02926017v1>

Submitted on 31 Aug 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ PARIS III - SORBONNE NOUVELLE
UFR Linguistique et Phonétique Générales et Appliquées

THÈSE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS III

Discipline : Phonétique

**VARIATIONS ARTICULATOIRES
EN DÉBUT DE CONSTITUANTS PROSODIQUES
DE DIFFÉRENTS NIVEAUX
EN FRANÇAIS**

présentée par
Cécile FOUGERON

Sous la direction de :
Mme le Professeur Jacqueline VAISSIÈRE

Soutenue le 30 juin 1998 devant le jury composé de :

Mme Patricia A. Keating

Mme Jacqueline Vaissière

M. Jean-Marie Hombert (rapporteur)

M. Shinji Maeda

M. Alain Marchal (rapporteur)

1998

UNIVERSITÉ PARIS III - SORBONNE NOUVELLE
UFR Linguistique et Phonétique Générales et Appliquées

THÈSE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS III

Discipline : Phonétique

VARIATIONS ARTICULATOIRES
EN DÉBUT DE CONSTITUANTS PROSODIQUES
DE DIFFÉRENTS NIVEAUX
EN FRANÇAIS

présentée par
Cécile FOUGERON

Sous la direction de :
Mme le Professeur Jacqueline VAISSIÈRE

Soutenue le 30 juin 1998 devant le jury composé de :

Mme Patricia A. Keating

Mme Jacqueline Vaissière

M. Jean-Marie Hombert (rapporteur)

M. Shinji Maeda

M. Alain Marchal (rapporteur)

1998

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui m'ont aidée à mener à bien cette thèse, pour leur soutien, leurs conseils et leurs critiques. En particulier, toute ma reconnaissance va à Jacqueline Vaissière et à Patricia Keating qui m'ont guidée dans ce travail. Je remercie également Jean-Marie Hombert, Alain Marchal, et Shinji Maeda d'avoir accepté de valider ce travail.

Un grand merci,

à Annie Rialland, Shinji Maeda, et les étudiants de Paris III pour leurs commentaires et suggestions lors des présentations successives de ce travail

à Zsuzsanna, Bertrand, Diana, Claire, Rachid, Isabelle pour avoir partagé avec moi les joies des études phonétiques et à Yohan pour nos grandes discussions EPGtiennes

à tous les membres du Laboratoire de Phonétique de UCLA et du département de Linguistique pour m'avoir accueillie et permis d'être leur "long term always visiting never leaving student"!

to Sun-Ah Jun, Donca Steriade, Ian Maddieson, Peter Ladefoged, Bruce Hayes, Dominique Sportiche, and to all my friends and coworkers who made my stay at UCLA forever memorable. In particular Moto, Kim, Victoria, Aaron, Caroline, Richard, Taehong, Chai-Shune, Matt, Marco, Edwards, Peggy à Christian pour m'avoir rappelé le pouvoir des mots et à qui j'aurais voulu montrer que la prosodie ("la poubelle de la parole") allait même jusqu'à contrôler ses zygomatiques!

à Vèrène et Sandrine qui, je suis sûre, ne pouvaient imaginer que leurs narines allaient faire couler autant d'encre...

à Laurent mon ami et locuteur infatigable (la prochaine fois c'est le tube dans le nez, promis!)

à ma soeur Alice, à Myriam et à mes amis qui ne comprennent pas pourquoi je suis toujours à l'école...

à Marie et à Pierre pour qui je tâcherai d'être un gentil docteur

à ma mère et à mon père pour leurs connections-corrrections, vous qui avez toujours été là pour me soutenir, m'aider et me botter les fesses quand il le fallait

enfin, à Vassilis pour son amour, sa force et sa détermination que j'admire.

Thanks to Jacqueline who gave me my wings.

Thanks to Pat who taught me how to fly.

Thanks to Sun-Ah to be my friend in the sky.

AVANT PROPOS

Ce travail se place dans un cadre de recherche sur les relations entre la composante suprasegmentale et la composante segmentale de la parole. Je cherche en particulier à comprendre comment la structuration prosodique d'un énoncé peut influencer la façon dont un locuteur articule les segments qui le composent.

Pour cela, j'examine l'articulation de segments placés dans une position particulière dans la structure de l'énoncé : la position initiale dans un constituant. Avec la position finale, la position initiale est une position frontière dans un constituant. Elle a donc la potentialité de porter des indices servant à démarquer les frontières du constituant. Il s'agira alors de déterminer si ces indices peuvent être des caractéristiques articulatoires segmentales.

Au niveau des constituants inférieurs tels que la syllabe et le mot, il a été montré que la position initiale se distingue de la position finale et médiane par des variations articulatoires particulières. Quelques études montrent que ces variations articulatoires en position initiale existent aussi dans des constituants supérieurs au mot. Elles permettent de distinguer les débuts de constituants supérieurs des débuts de constituants inférieurs. La question est alors de savoir si ces variations articulatoires reflètent l'encodage prosodique de la parole en constituants de différents niveaux.

Les quelques données existantes laissent à penser que ce marquage articulatoire des frontières initiales de constituants existent dans plusieurs langues. Or, comme Lehiste le note :

"The manner in which boundaries are realized in a language constitutes an integral part of its structure, and has to be included in its phonological description." [Lehiste 1964 : 196].

Le marquage articulatoire des frontières pourrait donc dépendre du système de la langue en question, comme cela a été montré pour les autres indices suprasegmentaux de frontières.

Dans ce travail je ne ferai pas de comparaison entre langues. Mon objectif principal est d'examiner en détail comment ce marquage articulatoire des positions initiales fonctionne en français.

Je comparerai l'articulation de segments initiaux placés dans des constituants de plusieurs niveaux prosodiques (la syllabe, le mot, le groupe accentuel, le groupe intonatif, la phrase - ces notions seront définies par la suite). J'évaluerai la généralisation de cet effet de la position prosodique sur plusieurs types de segments (occlusives, fricatives, liquides, voyelles) et sur plusieurs sous-systèmes articulatoires (lingual, nasal, glottal). Enfin, je chercherai à déterminer si un mécanisme physiologique unique permettrait d'expliquer ces variations articulatoires conditionnées par la position prosodique.

Cette thèse s'organise en six chapitres :

- Dans le premier chapitre (Introduction), je présenterai le caractère structuré de la parole en prenant comme exemple sa structuration syntaxique et sa structuration prosodique. J'introduirai ainsi les notions de constituants et de hiérarchie. Nous verrons que dans la structuration prosodique deux positions importantes se distinguent : la position sous l'accent et la position dans un constituant par rapport à ses frontières. Par la suite, je présenterai des résultats relatifs aux variations articulatoires connues en fonction de la position des segments dans la structuration prosodique d'un énoncé : les variations sous l'accent et les variations en fonction de la position dans un constituant prosodique (i.e. la position prosodique). J'insisterai sur les variations observées en position initiale dans des constituants de différents niveaux prosodiques qui sont l'objet de mon étude. Enfin, j'aborderai l'hypothèse de renforcement articulatoire qui a été avancée pour décrire ces variations articulatoires. Je terminerai en donnant des arguments linguistiques en faveur d'une vision de la position initiale comme une position particulière.

- Dans le second chapitre (Méthode), je présenterai les différentes positions prosodiques étudiées, ainsi que les méthodes d'investigation articulatoire (débit d'air nasal et électropalatographie), les mesures et les segments tests utilisés.

- Les chapitres III, IV et V présenteront respectivement les résultats obtenus pour les données électropalatographiques, aérodynamiques et acoustiques.
- Dans le chapitre VI, je discuterai des variations articulatoires observées en position initiale dans des constituants prosodiques de différents niveaux en français. J'essayerai de comprendre les caractéristiques de cette influence de la position prosodique sur l'articulation segmentale, la nature des variations observées et le mécanisme physiologique gouvernant ces variations. Je terminerai par une réflexion sur les fonctions linguistiques possibles de ces variations articulatoires en début de constituants prosodiques.

Dans cette thèse, j'étudie des énoncés qui ont une structuration particulière et je cherche à montrer que cette structuration est marquée, au niveau de la production, dans l'articulation des segments initiaux. J'utiliserai ici le terme "marquer" dans le sens de "signaler", "indiquer" : les variations articulatoires en début de constituant sont une "marque" (une empreinte, un indice) phonétique de la structuration prosodique¹. De plus, je me servirai des termes "constituants prosodiques" et "positions prosodiques" car, comme nous le verrons, les constituants examinés sont définis d'après des critères purement prosodiques.

¹ Il n'est pas question ici des notions phonologiques (développées par l'école de Prague) de "marque" comme un trait dont la présence ou absence est responsable d'une opposition phonologique, ou de "forme marquée" qui est une forme moins usuelle ou moins naturelle que sa contrepartie non-marquée (cf Trask 1996).

CHAPITRE I : INTRODUCTION

I. LA STRUCTURATION DU MESSAGE LINGUISTIQUE

Dans cette section, j'illustrerai la structuration de la parole en évoquant la structure syntaxique et la structure prosodique des énoncés. Ceci me permet d'introduire les notions de "constituant", de "hiérarchie" entre constituants et, finalement, de "position prosodique" dans un constituant et dans une hiérarchie.

I.A. Structure syntaxique et structure prosodique : un cas de congruence

Les énoncés² de parole sont constitués de mots appartenant à diverses classes grammaticales (noms, verbes, adjectifs...). Ces mots sont arrangés selon des règles syntaxiques précises, inscrites dans la Grammaire de la langue. Les mots se regroupent dans des *constituants syntaxiques* qui sont organisés en une *structure syntaxique* hiérarchisée et arborescente. Par exemple, dans l'énoncé "la petite fille chante une chanson", l'article, l'adjectif et le nom "la petite fille" s'assemblent dans un Syntagme Nominal³, le verbe, l'article et le nom "chante une chanson" se groupent en un Syntagme Verbal. Le Syntagme Nominal et le Syntagme Verbal s'assemblent à leur tour en un constituant de niveau hiérarchique supérieur : une Phrase.

Le regroupement des unités inférieures en unités supérieures, leur ordre, et leurs fonctions syntaxiques vont donner un sens à l'énoncé. Prenons l'exemple de la phrase (1) qui peut être ambiguë :

(1) "La belle ferme le voile".

En fonction du groupement des éléments entre eux et en fonction des rapports hiérarchiques entre les constituants syntaxiques formés, cette phrase prend deux sens complètement différents :

(1a) "La belle ferme le voile" : le voile est fermé par la belle

(1b) "La belle ferme le voile" : il est voilé par la belle ferme

Les structures syntaxiques correspondant à ces deux sens sont présentées dans la figure 1.1a et 1.1b. Dans les deux cas, la Phrase se décompose en un Syntagme Nominal et un Syntagme Verbal. Dans le premier cas (1a), "La belle" (article+nom) forme le Syntagme Nominal et "ferme le voile" (verbe + complément) forme le Syntagme Verbal. Dans le deuxième cas (1b), c'est "La belle ferme" (article + adjectif + nom) qui forme le Syntagme Nominal, et "le voile" (complément + verbe) forme le Syntagme Verbal.

Parallèlement à sa structure syntaxique, une phrase prend, lors de son énonciation, une *structure prosodique* qui lui est propre. Dans l'acte de parole⁴, le locuteur segmente son énoncé en *constituants prosodiques* de taille et de niveau différents. Dans la substance sonore, cette structuration est réalisée, par exemple, par des schémas intonatifs, accentuels, et/ou temporels particuliers. Ces indices acoustiques, entre autres, vont marquer le *découpage prosodique* des énoncés en constituants prosodiques, c'est à dire en groupant les mots entre eux et en délimitant des frontières entre constituants.

Reprenons l'exemple de la phrase (1). A l'écrit, cette phrase est ambiguë car les deux structures syntaxiques possibles n'apparaissent pas en surface. Par contre, si cette phrase est produite par un locuteur (oralisée, en pensée, en lecture silencieuse), la différence de sens entre les énoncés (a) et (b) va être reflétée par la structure prosodique que le locuteur va choisir. Les deux structures prosodiques correspondantes sont indiquées dans la figure 1.2a et 1.2b. Ces structures prosodiques se manifestent sur le plan acoustique par les différents contours

² Le terme "énoncé" (sans capital) est entendu dans son sens premier : émission de parole produite par un locuteur W, dans un lieu X et un temps Y. A ne pas confondre avec le constituant prosodique noté Énoncé (Utterance) que j'aborderai dans la partie discussion.

³ Tout au long de ce travail, les constituants qui entrent dans un rapport de hiérarchie les uns avec les autres dans une structure syntaxique, prosodique ou autre, seront notés à l'aide d'une lettre capitale (par exemple : la Syllabe, le Mot, le Syntagme Nominal, le Groupe Accentuel...).

⁴ En fait, il semblerait qu'il ne soit pas nécessaire qu'une phrase soit "oralisée" pour qu'il y ait structuration prosodique. Même en lecture silencieuse ou en pensée, les phrases sont découpées prosodiquement. Il suffirait alors uniquement que la phrase soit "générée" par un locuteur ou qu'il se la représente mentalement, pour qu'elle prenne une structure prosodique.

de fréquence fondamentale (f0) illustrés schématiquement sous les arbres prosodiques de la figure 1.2. Dans le sens (1a), le substantif "La belle" forme un Groupe Accentuel qui est marqué par une montée de continuation mineure et par un allongement final moyen sur le mot "belle". Dans le deuxième sens (1b), l'adjectif "belle" et le nom "ferme" forme un seul Groupe Accentuel ("la belle ferme"). Les deux mots sont groupés sous le même contour intonatif, une montée de continuation mineure. Le Groupe Accentuel est délimité aussi par un allongement final moyen sur le mot "ferme".

Figure 1.1a et 1.1b : Structure syntaxique de la phrase ambiguë "La belle ferme le voile" avec le sens "le voile est fermé par la belle" (1a) et "il est fermé par la belle ferme" (1b). (P = Phrase, GN = Groupe Nominal, GV = Groupe Verbal, Art. = article, N = nom, V = verbe, Comp. = complément).

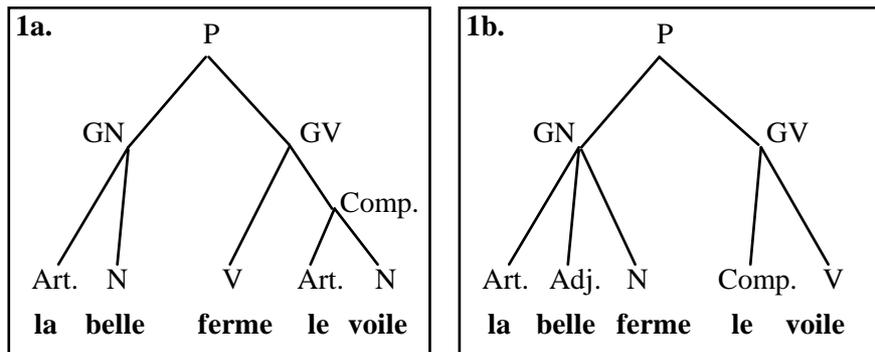
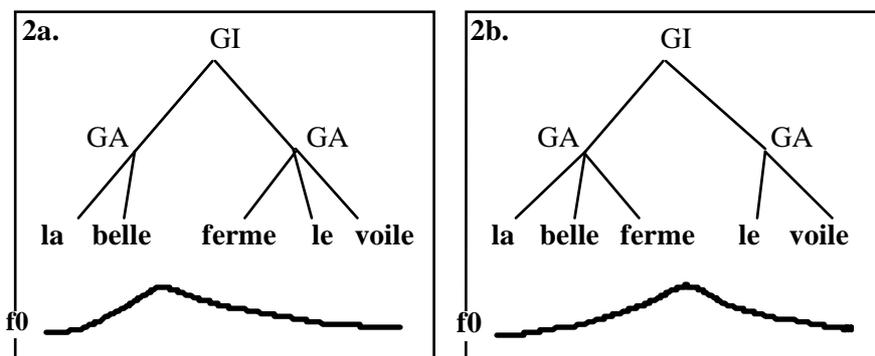


Figure 1.2a et 1.2b : Structure prosodique possible de la phrase ambiguë "La belle ferme le voile" avec le sens "le voile est fermé par la belle" (2a) et "il est fermé par la belle ferme" (2b). Sous chaque arbre prosodique est représentée schématiquement la courbe de f0 correspondante. (GI = Groupe Intonatif, GA = Groupe Accentuel).



Le sens que va prendre un énoncé va donc dépendre de sa structuration prosodique. Comme l'écrit Malmberg,

"si l'on ne rend pas compte de la structure prosodique de ces deux phrases, la description de leur contenu d'expression demeure lacunaire." [Malmberg 1971 : 202]

Le rôle prépondérant attribué à la composante syntaxique dans nombreuses théories linguistiques, notamment celles inspirées par la tradition Chomskienne, a conduit à réduire la définition des constituants prosodiques à celle des constituants syntaxiques ou à reléguer l'existence d'une structure prosodique à des questions de performance. Pourtant, depuis plusieurs dizaines d'années, avec le regain d'intérêt porté à la parole spontanée, le postulat d'une structuration prosodique indépendante de la structure syntaxique suscite un grand intérêt. Les arguments avancés pour contester cette assimilation de la structuration prosodique à la structuration syntaxique reposent essentiellement sur des cas de "non-congruence" entre ces deux structures.

I.B. Les cas de non-congruence entre structure syntaxique et structure prosodique

Dans les exemples précédents (1a) et (1b), les structures prosodiques proposées dans la figure 1.2 reflètent leurs structures syntaxiques (figure 1.1). Il y a, dans ce cas, *isomorphie* ou *congruence* entre structure syntaxique et

structure prosodique. Il est admis que la structure prosodique d'un énoncé est fortement influencée par sa structure syntaxique. Pourtant, la structure prosodique d'un énoncé ne correspond pas toujours à sa structure syntaxique.

Avant de passer en revue certains facteurs qui influencent le découpage prosodique des énoncés et non leur découpage syntaxique, considérons deux exemples de non-congruence entre les deux structurations.

La structuration syntaxique de la phrase [Nespor & Vogel 1986]

(2) "C'est le chat qui a attrapé la souris qui a mangé le fromage"

est la suivante :

[C'est [le chat qui a attrapé [la souris qui a mangé le fromage]]]

où chaque crochet représente un nœud syntaxique de Syntagme Nominal. Cette phrase, produite à débit de parole normal, peut être produite avec la structure prosodique suivante :

[C'est le chat] [qui a attrapé la souris] [qui a mangé le fromage]

où chaque crochet représente une frontière de Groupe Intonatif. Avec ce découpage prosodique en trois Groupes Intonatifs, le double enchâssement des relatives n'apparaît pas dans la structure prosodique. La structure prosodique est plus "plate" et ne reflète pas la structuration syntaxique complexe de la phrase.

Le second exemple de non-congruence entre structurations syntaxique et prosodique relève d'une différence fondamentale entre ces deux structures : une phrase a une structure syntaxique unique mais elle a plusieurs structures prosodiques possibles. Considérons la phrase :

(3) "Le chat a mangé la souris"

Elle s'articule syntaxiquement en un Syntagme Nominal et un Syntagme Verbal, ce dernier se décomposant en un verbe et son complément. Cette structure syntaxique est fixe et unique. Par contre, cette phrase peut être produite en deux Groupes Intonatifs, comme en 3a (les deux Groupes Intonatifs sont séparés par une pause et le mot "chat" est marqué par une montée de continuation majeure de f0 et un allongement final important) ou elle peut être produite en un seul Groupe Intonatif, comme en 3b :

3a- [Le chat] # [a mangé la souris] (# = pause)

3b- [Le chat a mangé la souris]

La variabilité dans le découpage prosodique d'un énoncé tient au fait même que la structure prosodique ne correspond pas directement à la structure syntaxique. Le découpage prosodique d'un énoncé va dépendre de plusieurs facteurs linguistiques et non-linguistiques qui n'influencent pas la structure syntaxique. Parmi ceux-ci :

- La structuration prosodique d'une phrase va dépendre du *locuteur* et de *l'interlocuteur*.
- La structuration prosodique est, bien entendu, aussi fonction du *message*. Le découpage prosodique va rendre compte de la structure informationnelle de la phrase. La mise en emphase de certains éléments, la distinction entre thème et rhème, l'expression de certaines attitudes, de la modalité de la phrase... sont autant de facteurs qui vont influencer le locuteur dans la segmentation prosodique de son énoncé. Par exemple, le découpage prosodique présenté en (3a) peut être utilisé si le locuteur veut mettre en valeur le mot "chat", en réponse à la question "qui a mangé la souris?" "[Le CHAT] # [a mangé la souris]".
- La structuration prosodique des énoncés répond également à des *principes rythmiques* généraux. La longueur des constituants prosodiques, en particulier, est fonction de la longueur des phrases (nombre de mots) et du poids rythmique des éléments (nombre de syllabe). Plusieurs études ont montré que les locuteurs ont tendance à découper leurs énoncés selon des principes de symétrie et d'équilibre syllabique de façon à ce que les constituants d'un même niveau soient équilibrés, qu'ils forment un schéma rythmique récurrent, et/ou qu'ils respectent un principe d'alternance accentuelle (eurhythmie) [Grosjean et al. 1979, Gee & Grosjean 1983, Dell 1984, Rossi 1985, Padeloup 1990, Delais 1995].
- Le découpage prosodique des énoncés est aussi fonction du *débit de parole*. A débit rapide, les locuteurs tendent à regrouper plus d'éléments au sein d'un même constituant prosodique. En conséquence, les constituants sont plus lourds (ont plus d'éléments) et le nombre de frontières prosodiques diminue quand le débit est rapide [cf. en français : Vaissière 1983, Lucci 1983, Fougeron & Jun 1995, 1998 ; en coréen : Jun 1993 ; en néerlandais : Casper & Gussenhoven 1991, 1995].

- La segmentation du continuum de parole en constituants prosodiques est également fonction du *style de parole*. En parole lue (comme dans cette étude), les locuteurs ont tendance à marquer nettement et régulièrement les frontières entre les constituants de types morpho-syntaxiques. En parole spontanée, par contre, c'est le marquage des proéminences qui prend le dessus pour indiquer la structuration prosodique des énoncés. La structuration prosodique y est donc proéminente [Vaissière 1997, comm. personnelle, Lucci 1983].

Ces différents facteurs affectent la structuration prosodique d'un énoncé mais pas sa structure syntaxique. Ainsi, il font dévier la première de la seconde. Chez Chomsky et Halle (1968), les problèmes de non-congruence entre structure syntaxique et structure prosodique ont été relégués à des problèmes de performance. Les facteurs influençant seulement la structuration prosodique étaient considérés comme des contraintes de performance et n'entraient donc pas dans la Grammaire de la langue. Pourtant, comme le remarquent Nespor & Vogel (1986:130), la structuration prosodique de la phrase (2)

(2) [C'est le chat] [qui a attrapé le souris] [qui a mangé le fromage]

ne relève pas d'une question de performance puisque la position des frontières intonatives est gouvernée par des règles strictes (avant chaque pronom relatif) et répond à une intuition forte chez le sujet natif. Le découpage prosodique fait donc partie de la compétence du sujet parlant et répond à des principes réguliers.

En conséquence, il apparaît que les structures prosodiques que peut prendre un énoncé ne peuvent pas être dérivées correctement à partir des informations syntaxiques seules. Elles se définissent à partir d'informations linguistiques (syntaxiques, sémantiques...) et d'informations non-linguistiques (rythme, débit...). Cette particularité (intégrative) de la structuration prosodique a conduit de nombreux chercheurs à reconnaître une composante prosodique autonome dans la Grammaire.

I.C. Une composante prosodique autonome - Les théories prosodiques

C.1. Introduction

Une revue de la littérature laisse apparaître la difficulté qu'il y a à définir le terme prosodie. En fait, en fonction de l'approche adoptée par les auteurs, le terme prend des aspects multiples. Pour résumer, la prosodie est définie :

- soit par ses *manifestations physiques* dans le signal. Les définitions renvoient alors aux paramètres acoustiques de durée, de fréquence fondamentale (f₀), d'intensité, de variations spectrales non phonémiques, de pause. Elles englobent les phénomènes d'intonation et d'accentuation.
- soit par sa *fonction structurante* de l'énoncé. La structure prosodique, et donc les constituants prosodiques, sont définis comme des "domaines" au sein desquels se réalisent des phénomènes prosodiques particuliers. Ces phénomènes sont considérés comme prosodiques car ils ne renvoient pas au segment, mais à des niveaux supérieurs au segment. En ce sens ce sont des phénomènes suprasegmentaux. L'harmonie vocalique turque qui s'applique au delà du mot (au sein du Groupe Clitique) en est un bon exemple. Les phénomènes phonologiques lexicaux et post-lexicaux sont alors considérés comme prosodiques.

Durant ces vingt dernières années sont apparues des théories prosodiques, comme la *Phonologie Prosodique*, qui redéfinissent la place de la prosodie dans la Grammaire. Ces théories introduisent un niveau de représentation prosodique autonome qui est à l'interface entre les composantes morpho-syntaxiques et la composante phonologique [Lieberman 1975, Nespor & Vogel 1986, Selkirk 1986, Beckman & Pierrehumbert 1986, Pierrehumbert & Beckman 1988, Hayes 1989, pour les plus connues]⁵.

L'introduction d'un module prosodique autonome est fondé sur le fait que les locuteurs organisent leurs énoncés en constituants, mais que cette structuration n'est prédite qu'imparfaitement par la syntaxe (voir les exemples de la section précédente). Les Théories Prosodiques proposent alors de représenter un énoncé sous la

⁵ Le lecteur intéressé par une description plus complète de ces théories est invité à lire, entre autres, Jun (1993, Chap. I), Shattuck-Hufnagel & Turk (1996), Ladd (1996). A propos des divergences entre les approches syntaxiques et prosodiques, on lira Selkirk (1984), Hayes (1989), Inkelas & Zec (1990), par exemple.

forme d'une structure hiérarchisée indépendante, *la structure prosodique*. Cette structure s'articule en constituants prosodiques dont la définition inclue non seulement des informations syntaxiques, mais aussi des informations morphologiques, sémantiques et rythmiques. Ainsi, la structure prosodique ne renvoie qu'indirectement à l'information syntaxique.

La nécessité d'une structure prosodique autonome apparaît aussi lorsque l'on veut expliquer certains phénomènes phonologiques dont l'application ne répond pas à des critères syntaxiques ou morphologiques. Par exemple, le Raddoppiamento Sintattico en italien consiste à allonger la consonne placée au début d'un mot (consonne seule ou dans un groupe sans /s/) si le mot précédant se termine par une voyelle accentuée. L'application de cette règle ne correspond pas à un constituant syntaxique précis. Au contraire, Nespor et Vogel (1986) montrent que le domaine d'application de cette règle est le Syntagme Phonologique (Phonological Phrase)⁶. C'est à dire qu'elle ne s'applique que si les mots appartiennent au même Syntagme Phonologique et ne s'applique pas entre deux Syntagmes Phonologiques.

D'autre part, Nespor et Vogel (1986) montrent aussi que certaines règles s'appliquent dans des constituants supérieurs aux constituants syntaxiques traditionnels. Par exemple, la règle de "linking r" en anglais britannique peut s'appliquer au sein d'une phrase, mais aussi entre deux phrases. Dans la séquence (1) ci-dessous, la règle s'applique entre les deux phrases alors qu'il n'y a pas de constituant syntaxique qui regroupe ces deux phrases. Dans la séquence (2), le [r] à la fin de "mother" est éliminé, il n'y a donc pas de "linking r" entre ces deux phrases.

(1) There is my mothe[r]. I've got to go.

(2) There is my mothe[]. I've got two cats.

Un recours à l'information syntaxique est insuffisant pour expliquer le domaine d'application de la règle de "linking r". Il faut faire appel à des informations sémantiques qui gouvernent les relations entre les deux phrases : la règle ne s'applique qu'entre deux phrases entretenant un rapport sémantique étroit (dans la phrase (1), un lien de causalité). Nespor et Vogel proposent comme domaine d'application de cette règle un constituant prosodique : l'Enoncé Phonologique (Utterance).

Ces exemples montrent que les constituants de la structure prosodique forment des domaines au sein desquels les phénomènes suprasegmentaux peuvent être analysés. La phonologie prosodique est donc la *théorie des domaines* [Nespor & Vogel, 1986]. Chaque constituant prosodique est le domaine d'application de phénomènes phonologiques et phonétiques spécifiques. Circulairement, ces phénomènes permettent de définir les constituants prosodiques en leur conférant une unité (règles s'appliquant entre les membres appartenant au même constituant) et en délimitant leurs frontières (règles ne s'appliquant pas au travers d'une frontière entre constituants).

C.2. Les Hiérarchies de constituants prosodiques

La description des systèmes prosodiques selon plusieurs niveaux de constituants apparaît aussi bien dans des modèles superpositionnels que séquentiels, dans une optique de description phonologique ou en vue d'une application à la synthèse de la parole, par exemple. Pourtant, les niveaux prosodiques considérés ne sont pas toujours clairement définis et leur organisation structurelle n'est pas toujours évidente. L'objectif de cette section n'est pas de présenter toutes les hiérarchies prosodiques qui ont été proposées dans la littérature, mais d'en extraire quelques points communs et différences.

⁶ Selon Nespor & Vogel (1986), le Syntagme Phonologique (SP) ("phonological phrase") est défini comme une unité de tête syntaxique accompagnée des éléments à sa gauche (coté non récursif, gauche en français et en anglais) avec éventuellement un complément à sa droite. Pour Selkirk (1972, 1986), le Syntagme Phonologique (small phonological phrase) inclut une unité de tête et ses modificateurs à sa gauche ou à sa droite mais pas ses compléments. Par exemple, la séquence "la petite fille" forme un SP, mais la séquence "la fille charmante" formera un seul SP pour Nespor et Vogel, mais deux SP pour Selkirk ("charmante" étant la tête du Syntagme Adjectival complément du Syntagme Nominal "la fille"). En français, le SP est souvent défini comme le domaine de la liaison facultative [Selkirk 1986, De Jong 1991].

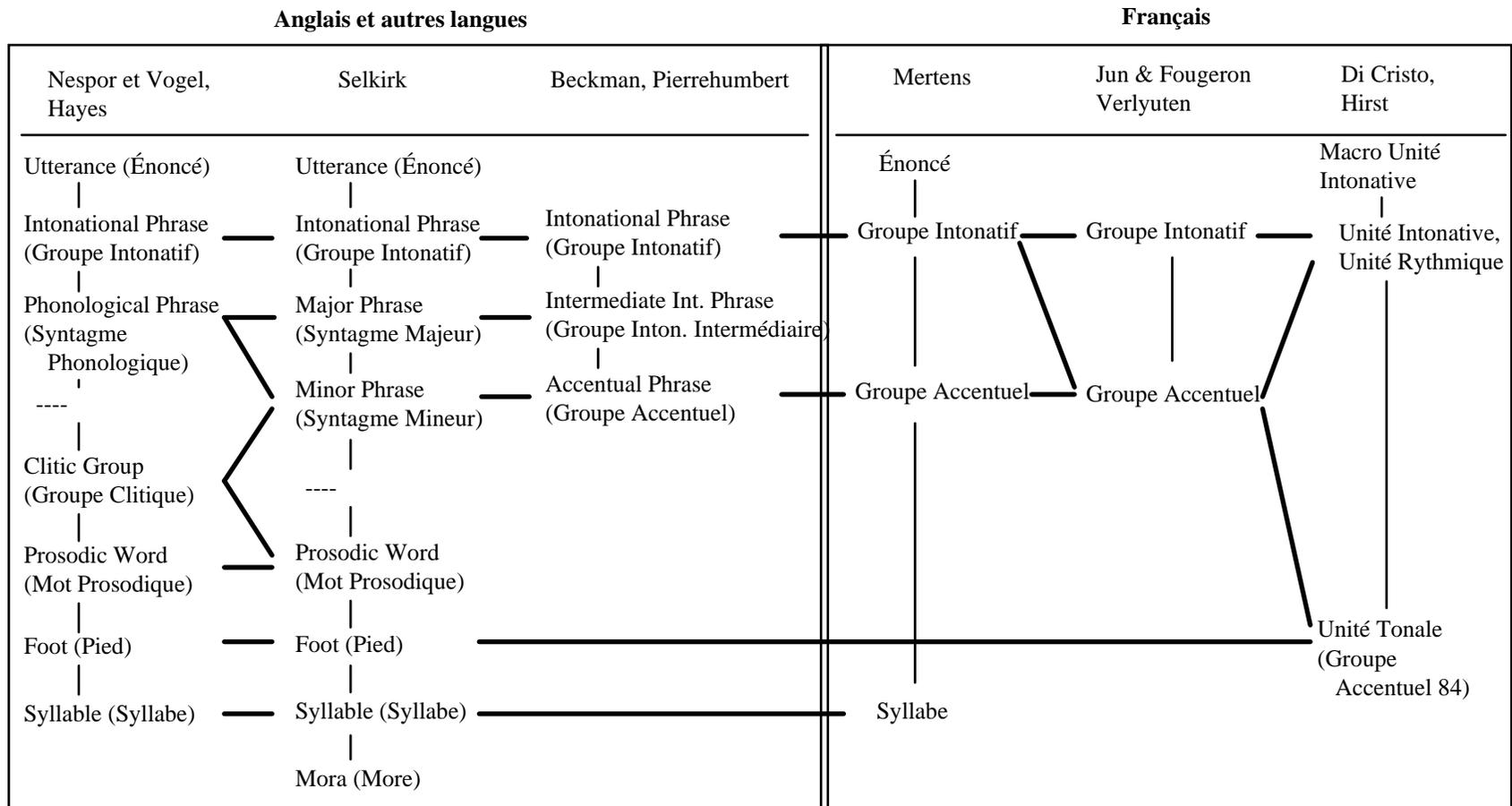


Figure 1.3 : Exemples de Hiérarchies Prosodiques proposées dans la littérature pour l'anglais et d'autres langues (partie gauche, d'après Shattuck-Hufnagel & Turk 1996) et pour le français (partie droite).

En fonction des approches, les constituants prosodiques sont définis suivant différents critères, ce qui donne naissance à plusieurs types de constituants :

- (1) certains définissent les constituants prosodiques selon des critères morpho-syntaxiques et phonologiques [Selkirk 1980, 1984, 1986, Verluyten 1983, Nespor et Vogel 1986, Hayes 1989, Post 1993].
- (2) d'autres définissent les constituants prosodiques selon des critères purement prosodiques (intonation, allongement final, pause...) [Beckman & Pierrehumbert 1986, Mertens 1987, Pierrehumbert & Beckman 1988, Di Cristo & Hirst 1993, Jun & Fougeron 1995, 1998]

La figure 1.3 met en parallèle quelques unes des hiérarchies de constituants proposées dans la littérature pour l'anglais et le français. Cette figure s'inspire d'une figure de Shattuck-Hufnagel & Turk (1996:206) pour les hiérarchies proposées pour l'anglais et d'autres langues (dans la partie gauche de la figure 1.3). Pour une définition et une comparaison détaillées des constituants, le lecteur est renvoyé à l'article de Shattuck-Hufnagel & Turk (1996) pour l'anglais et à la thèse de Delais (1995) ou de Sabio (1996) pour le français. Je ne reprendrai pas ces définitions ici et je ne définirai dans le chapitre II (Méthode) que les constituants dont je vais me servir.

Cette figure est présentée ici pour montrer que, suivant les auteurs et les langues, le nombre et la nature des constituants prosodiques proposés varient. La comparaison entre les hiérarchies est donc difficile. Toutefois, trois points importants se dégagent de ces structures :

- (1) Les constituants prosodiques s'organisent de façon *hiérarchique*. Par exemple, les Mots Prosodiques (Prosodic Word) sont groupés en un Syntagme Phonologique (Phonologique Phrase) ; les Syntagmes Phonologiques sont groupés en un Groupe Intonatif (Intonational Phrase)⁷ ; et ainsi de suite. Suivant cette organisation hiérarchique, il y a donc des constituants prosodiques inférieurs et des constituants prosodiques supérieurs. Suivant les langues, ces constituants peuvent être différents.
- (2) Pour certains auteurs, la hiérarchisation des constituants répond à une règle dite de "*Strict Layering*" [Selkirk 1986] selon laquelle les constituants d'un même niveau prosodique ne peuvent pas être emboîtés. Un constituant X^P est composé obligatoirement d'un ou plusieurs constituants du niveau immédiatement inférieur X^{P-1} et non d'un constituant du même niveau X^P . De ce fait, un constituant de niveau X^P ne peut être précédé que d'un constituant de même niveau prosodique (sauf s'il est au début absolu du segment de parole). Par conséquent, le segment placé au début d'un constituant (ex. un Groupe Intonatif) est à la frontière entre deux constituants de même niveau (entre deux Groupes Intonatifs). Chez d'autres auteurs, cette hypothèse de "Strict Layering" est contestée en faveur d'une structure où la récursivité des niveaux prosodiques est possible (un Groupe Intonatif peut inclure d'autres Groupes Intonatifs) [Chomsky & Halle 1968, Ladd 1986, 1988, 1996, Ladd et Campbell 1991, Ito & Mester 1992 (en japonais), Di Cristo & Hirst 1996 (en français)]. Dans cette thèse, le corpus utilisé comporte des phrases simples dont la structure prosodique ne soulève pas le problème de la récursivité des niveaux. Je considérerai donc que les constituants prosodiques examinés suivent la règle du Strict Layering (sans pour autant ignorer les problèmes soulevés par cette règle).
- (3) La structuration prosodique de la parole se fait selon une *hiérarchie de constituants* mais aussi selon une *hiérarchie de prééminences*. Le terme "prééminence" correspond à la mise en relief d'une unité par rapport à d'autres, elle inclue les notions d'accent lexical et d'accent de groupe, de syntagme, de phrase, par exemple. Les travaux issus de la Théorie Métrique [Lieberman et Prince 1977, Hayes 1989...] proposent un nombre fini de catégories de prééminences qui s'organisent hiérarchiquement sur différents niveaux. Par exemple, en anglais, ces prééminences s'organisent sur au moins 4 niveaux : la syllabe réduite ("unstressed"), la syllabe à accent lexical ("stressed"), la syllabe à accent de groupe mélodique ("pitch accented"), la syllabe à accent de groupe mélodique nucléaire ("nuclear pitch accented") [voir Shattuck-Hufnagel & Turk 1996]. La hiérarchie des prééminences est reliée à la hiérarchie des constituants. Chaque catégorie de prééminences est associée à un constituant particulier. Dans ce

⁷ Les traductions françaises des noms de constituants prosodiques issus de la littérature anglaise sont diverses. Je choisis ici d'appeler la "phonological phrase" syntagme phonologique et la "intonational phrase" groupe intonatif, pour mettre en valeur les différences dans leur définition. La première est définie en partie selon des critères syntaxiques (d'où le terme "syntagme", courant dans les analyses syntaxiques) alors que la seconde est définie selon des critères prosodiques (intonatifs) (d'où le terme "groupe" que j'utilise aussi pour le constituant "Groupe Accentuel" (Accentual Phrase)).

constituant, la syllabe proéminente fonctionne comme une unité de tête ("head"), c'est à dire comme l'élément le plus proéminent⁸.

La distinction entre "tête" (proéminence) et "frontière" (frontière de constituants) n'est pas toujours aisée et peut porter à confusion. En français par exemple, il est difficile de faire rentrer les catégories "d'accent" dans cette dichotomie mise en place pour les langues germaniques. En français, l'accent "final" (ou "primaire") a un caractère démarcatif. Il sert à marquer la frontière d'un constituant par une montée de f0 et un allongement. La syllabe portant ces indices est donc aussi proéminente dans le groupe par rapport aux autres syllabes privées d'allongement ou de montée de f0. Cette syllabe peut être comparée au "pitch accent" anglais, mais elle en est fondamentalement différente dans le sens qu'elle est principalement un indice de frontière et non uniquement de tête. L'accent initial en français ("accent secondaire", "ictus mélodique" selon Rossi, "accent didactique" selon Lucci, ...) pose aussi problème. Il constitue une proéminence mélodique au sein d'un constituant (Groupe Accentuel, voir même Groupe Intonatif) mais n'en est pas la "tête" au sens de "syllabe la plus proéminente". Il peut être une unité de tête si on considère que son domaine est le pied ou l'unité tonale (Hirst & Di Cristo 1993). L'accent initial est aussi un indice (optionnel) de frontière gauche de constituant ("initial" rise, selon les termes de Vaissière 1975). Dans la section II.A.1, je reviendrai sur ces deux hiérarchies (constituant et proéminence) en abordant les variations articulatoires observées sous l'accent. Pour le moment, ce qu'il faut en retenir c'est que l'organisation prosodique des énoncés est marquée dans les constituants prosodiques, que ce soit pour en marquer les proéminences ou pour en marquer les frontières⁹.

I.D. Frontières et proéminences : marquage de positions importantes dans la structuration prosodique de l'énoncé

La prosodie a une fonction discursive et communicative et, dans ce sens, elle rend compte des structures informationnelles (thématisation, rhématisation, focalisation...) et pragmatiques (attitudes...) des énoncés.

Comme on l'a vu plus haut, la prosodie a également une fonction de structuration de la parole en *constituants* et en *proéminences*. Selon les termes de Troubetzkoy (1949), ceci correspond, respectivement, à sa *fonction démarcative* (découpage du continuum et regroupement d'unités en constituants dits "prosodiques") et sa *fonction culminative* (mise en relief de certaines unités par rapport à d'autres). C'est à ces aspects structurels de la prosodie que je vais m'intéresser plus particulièrement dans cet étude.

L'implémentation de l'organisation prosodique dans la substance sonore se fait par le marquage des positions importantes d'un point de vue prosodique. Ces positions sont, comme Beckman et Edwards l'indiquent, les frontières de constituants et les unités proéminentes (têtes) :

(prosody is) "the organizational framework that measures off chunks of speech into countable constituents of various sizes. [...] whereas segmental specifications are facts about the phonetic content of an utterance, prosodic specifications are facts about how that content is organized. [...] we can identify two different devices for creating this structural organization: at any level of the prosodic hierarchy, the number of constituents can be indicated by marking the edges or by marking the heads." [Beckman & Edwards 1994 : 8]

Plusieurs paramètres sont connus pour marquer ces positions importantes dans l'organisation prosodique : la f0, la durée, l'intensité, les variations spectrales (non phonémiques) et la pause. En général, le marquage d'une catégorie de frontière ou d'un type de proéminence ne correspond pas à un seul indice acoustique mais à un groupe d'indices principaux. Par exemple, la frontière entre deux Groupes Intonatifs est marquée par un ample mouvement de la f0 (montant ou descendant) et/ou par un fort allongement final et/ou par la présence d'une

⁸ Par exemple, en anglais, l'accent de groupe mélodique nucléaire ("nuclear pitch accent") est la tête d'un Groupe Intonatif Intermédiaire ("Intermediate Phrase"), l'accent lexical ("stress") est la tête d'un Pied (!) ("foot"). Ces deux hiérarchies, de constituants et de proéminences, sont reliées mais sont autonomes car certains constituants n'ont pas de proéminence particulière (ils n'ont pas de tête) et vice-versa. Je reviendrai sur ces relations en section II.A.1.

⁹ Pour une réflexion sur les oppositions entre les modèles prosodiques du français, voir Jun & Fougeron (1995, 1998), Mertens (1993), Post (1993), Levac et al (1993), Hirst & Di Cristo (1996), Vaissière (1996), entre autres.

pause. La frontière entre deux Groupes Accentuels est marquée par un mouvement moins ample de f₀ montant et/ou un allongement final moyen sans pause. Le marquage est donc *multi-paramétrique*. Il est aussi *scalair* : la valeur des paramètres n'est pas binaire, mais varie de manière graduelle (différents degrés d'allongement final). Enfin, l'importance et la combinaison de ces indices varient en fonction des langues, et en particulier, de la façon dont la langue va gérer le nombre de phénomènes linguistiques à marquer et le nombre de paramètres phonétiques disponibles [Lehiste 1967, Vaissière 1989].

Les frontières et les prééminences sont donc marquées par des caractéristiques prosodiques qui, selon Malmberg, sont

"des éléments prosodiques, c'est à dire phonématiquement pertinents ayant une fonction et démarcative, et unifiante." [Malmberg 1971 : 213]

De Jong, Beckman et Edwards reprennent cette idée en comparant ces spécifications prosodiques aux spécifications segmentales :

"... segmental specifications encode the answers to such question as "Is this vowel segment front or back?" or "Is this tone segment high or low?". Prosodic specifications encode answers to such questions as "Does this vowel stand as the the nucleus of a stressed syllable?" or "Does this tone mark the edge of an intonational phrase?" [De Jong et al. 1993 : 199]

Les "traits prosodiques" apparaissent donc comme des traits phonologiques. A la différence des "traits segmentaux", les spécifications prosodiques sont réalisées dans le signal acoustique à des points particuliers (par exemple, sur un nucleus vocalique ou une syllabe finale), mais ces traits sont les spécifications de domaines supérieurs au segment (par exemple, à la Syllabe, au Groupe Accentuel...). C'est pourquoi ces spécifications sont *des traits de nature suprasegmentale*.

Une analyse complète de la parole doit inclure une description des spécifications segmentales de la parole mais aussi de ses spécifications suprasegmentales. Comme Faure le souligne, le linguiste doit aussi étudier ces

"[...] oppositions mélodiques, qui peuvent, elles aussi, être distinctives, mais sur le plan de la phrase, c'est-à-dire de la langue actualisée en discours, puisqu'un changement mélodique déterminé, sur un point précis de la chaîne parlée, peut entraîner un changement d'identité de cette phrase non seulement du point de vue de son contenu subjectif, mais même dans certain cas, sur le plan purement notionnel et objectif, c'est à dire sur celui des représentations abstraites qui sont le thème du message." [Faure 1962 : 608]

Dans ce travail, j'essaierai donc de répondre à cette double préoccupation en étudiant en parallèle les spécifications segmentales et suprasegmentales de la parole. En particulier, je chercherai à voir comment les spécifications suprasegmentales relatives à l'organisation prosodique d'un énoncé peuvent influencer les caractéristiques segmentales des segments qui le composent. En d'autres termes, j'aborderai les relations entre contenant et contenu, entre sons et structure [Saussure 1915, Grammont 1933].

I.E. Quels aspects de l'organisation prosodique seront étudiés dans cette thèse?

E.1. La "position prosodique" : position dans un constituant par rapport à une frontière prosodique

Nous avons vu qu'il y a deux positions importantes du point de vue de l'organisation prosodique : la position d'un segment par rapport à une frontière prosodique (i.e. dans un constituant) et la position d'un segment par rapport à la prééminence (i.e. par rapport à l'accent).

Dans cette étude, je ne m'intéresse pas particulièrement à la position sous l'accent, mais à la position par rapport à une frontière prosodique. J'appelle cette position "position prosodique" dans un constituant, que je définis comme *la position dans un constituant prosodique par rapport à une frontière prosodique à un certain niveau dans la hiérarchie prosodique*.

E.2. La position initiale dans un constituant : marquage de la frontière initiale

Puisque les segments initiaux et finaux dans un constituant prosodique sont en position frontière, il est possible que ces segments portent des indices servant au marquage de cette frontière. Les caractéristiques phonétiques

des segments en position finale ont fait l'objet de nombreuses études dans plusieurs langues. En position finale, les segments sont allongés, ils peuvent porter un ton frontière, ils peuvent être suivis d'une pause, et ils peuvent aussi subir des variations articulatoires spécifiques (principalement des réductions). Ces caractéristiques sont autant d'indices marquant la fin d'un constituant, et donc, la présence d'une frontière prosodique.

Dans cette étude, je m'intéresserai non pas à la position finale, mais à une position plus rarement étudiée : *la position initiale dans un constituant*. Il s'agira de savoir si les segments en position initiale portent également des indices de démarcation prosodique, c'est à dire des indices qui peuvent contribuer à signaler le début d'un constituant prosodique. D'autre part, je chercherai à voir si les caractéristiques des segments initiaux peuvent distinguer des constituants à plusieurs niveaux dans la hiérarchie prosodique (notamment des constituants supérieurs au Mot) en marquant leur début.

E.3. Les variations articulatoires : des indices marquant les frontières initiales de constituants

Le marquage de la structuration prosodique est réalisé dans le signal de parole par divers paramètres suprasegmentaux (variations de f_0 , de durée et d'intensité...). Dans cette étude, je m'attache à des caractéristiques qui sont généralement considérées comme segmentales.

J'examinerai plusieurs caractéristiques articulatoires de segments placés au début de constituants de différents niveaux afin de déterminer comment des *variations articulatoires* peuvent constituer des indices de la structuration prosodique.

E.4. Pas de comparaison entre structure prosodique et autres structures

Que la parole soit structurée semble être admis par tous. Il y a, dans un énoncé, des mots plus proches les uns des autres, des frontières (jonctions) plus ou moins importantes. En fait, la parole s'organise selon plusieurs types de structures, toutes aussi importantes les unes que les autres. Parallèlement aux structures syntaxique et prosodique, d'autres structures ont été mises à jour : des structures informationnelles, rythmiques [Fraisse 1974, Padeloup 1990], ou de performance [Grosjean et al 1979, Gee & Grosjean 1983].

Dans cette thèse, je n'aborderai pas le problème posé par les interactions et les places respectives des différentes structures dans la Grammaire de la langue [cf Delais 1995]. Je ne m'intéresserai qu'à la structure des énoncés tels qu'ils sont produits par les locuteurs. Je parlerai de "structuration prosodique" et de "constituants prosodiques" car les constituants que j'examine sont définis suivant des critères purement prosodiques tels que la présence d'une pause, le degré d'allongement final et le contour intonatif. Il ne sera donc pas question de comparer hiérarchie prosodique et hiérarchie syntaxique. D'ailleurs, dans le corpus utilisé (voir chap.II), la structuration prosodique des énoncés correspond à leur organisation syntaxique puisque celle-ci est utilisée pour éliciter la structure prosodique souhaitée. D'autre part, le style de parole utilisé dans cette étude sera celui de la parole lue. Contrairement à la parole spontanée, le découpage prosodique utilisé lors de la lecture calque souvent les démarcations de type syntactico-sémantique. Ainsi les allongements, les pauses, les fins de groupes rythmiques, coïncident plus fréquemment avec les principales frontières syntaxiques en parole lue [Lucci 1983, Vaissière 1997].

II. INFLUENCE DE LA PROSODIE SUR L'ARTICULATION

Parallèlement aux facteurs de nature suprasegmentale comme la f_0 , l'organisation prosodique d'un énoncé induit des variations articulatoires sur des segments placés à des positions particulières dans l'énoncé. Ces variations articulatoires affectent des traits que l'on considère généralement comme des *caractéristiques segmentales* des sons du langage (p.ex. l'aperture orale ou vélopharyngée). Or, puisqu'elles sont conditionnées par la prosodie, ces variations, peuvent être incluses dans l'inventaire des manifestations suprasegmentales de l'organisation prosodique des énoncés.

Les variations les plus connues sont celles qui touchent à l'accent. Les segments placés dans une syllabe accentuée voient leur articulation modifiée par rapport aux segments non accentués. Je présenterai en première

partie (II.A) quelques unes des variations relevées en fonction de la position d'un segment par rapport à l'accent (la proéminence).

L'articulation des segments est aussi influencée par leur position par rapport à une frontière de constituant. A différents niveaux prosodiques (Syllabe, Mot, constituants supérieurs), il a été observé que l'articulation des segments diffère en position initiale, médiane ou finale dans le constituant. Ces variations seront présentées en deuxième partie (II.B).

II.A. Variations segmentales en fonction de la proéminence

La proéminence est la mise en relief d'une unité par rapport aux autres. Sous le terme "proéminence", on entend plusieurs catégories d'accent qui se définissent suivant leurs niveaux relatifs et suivant leur fonction (démarcatif, rythmique, emphatique...). Dans mon étude, je n'étudierai pas particulièrement l'influence de l'accent sur l'articulation, mais plutôt les variations aux frontières de constituants. Cependant, une présentation des données relevées dans la littérature est intéressante car ces variations sous l'accent présentent des similitudes avec celles observées en position initiale dans un constituant prosodique.

En français, les questions relatives à l'accent ont soulevé de nombreux débats et ont fait coulé beaucoup d'encre [voir Di Cristo & Hirst 1997 pour une revue récente]. Je ne rentrerai que rapidement dans ce débat pour introduire la nécessité de contrôler le type d'accent étudié pour en connaître ses manifestations articulatoires.

Les recherches sur les manifestations acoustiques de l'accent ont parfois produit des résultats contradictoires. Ceux-ci peuvent s'expliquer par le fait que le niveau d'accent étudié n'est pas toujours clairement défini et contrôlé. Par exemple, les travaux de Fry (1958) en anglais ont montré que la différence entre la syllabe accentuée et la syllabe non accentuée dans des paires anglaises du type "PERmit vs. perMIT" (où les capitales marquent l'accent lexical) reposait essentiellement sur une variation de f_0 . Or, dans son corpus, les mots étaient présentés isolément. Chaque mot constituait une phrase et la syllabe accentuée portait donc aussi l'accent de groupe mélodique. Ainsi, il n'est pas possible de distinguer dans ses résultats les variations dues à l'accent lexical de celles dues à l'accent de groupe.

Cet exemple montre qu'il est nécessaire de contrôler le niveau ou la catégorie d'accent étudié, si l'on veut observer les manifestations acoustiques ou articulatoires de cet accent. Nous verrons par la suite que cette référence au niveau prosodique concerné est également nécessaire lorsqu'on s'attache aux variations articulatoires en fonction de la position prosodique.

A.1. Notes préliminaires sur l'accent et les niveaux de proéminence

La comparaison avec une langue comme l'anglais, langue à accent lexical distinctif, rend la définition de la notion d'accent difficile en français. Ceci a conduit certains auteurs à considérer le français comme une langue sans accent ou une langue à frontière [p. ex. Hjelmslev 1936, Rossi 1980]. Pourtant, si l'on considère différentes catégories d'accent et différentes fonction d'accent selon les langues, des comparaisons sont possibles. Suivant la théorie métrique, il est possible de distinguer différents types d'accent en fonction du poids métrique de la syllabe accentuée. Ce poids métrique est fonction du niveau de l'accent dans une hiérarchie de proéminence. La hiérarchie de proéminence se rapproche, comme nous l'avons vu (I.C), de la hiérarchie des constituants. Ainsi, les différents types d'accents se définissent aussi par rapport au niveau prosodique du constituant auquel l'accent est associé et duquel il est la "tête" (head) [cf. Shattuck-Hufnagel & Turk 1996].

Une proéminence est toujours réalisée sur une syllabe particulière de la chaîne (une syllabe accentuable [Garde 1968]). Tout comme le niveau du constituant prosodique auquel l'accent est associé, ses manifestations acoustiques vont être fonction du type d'accent. En général, les manifestations acoustiques incluent des variations sur les paramètres d'intensité, de durée, de f_0 et de timbre [voir p. ex., Delattre 1938, 1939, Rigault 1962, Benguerel 1973, Rossi et al. 1980, Touati 1987, Padeloup 1990, Vaissière 1992 pour le français ; Bolinger 1958, Lieberman 1960, Gay 1978 pour l'anglais]. Le marquage acoustique des accents est souvent multi-paramétrique et l'importance relative de ces paramètres varie suivant le type d'accent et suivant les langues [p. ex., Vaissière 1983, Fant & Kruckenberg 1991, Sluijter 1995].

Je présenterai ici différents types de proéminences (ou niveaux accentuels) en prenant pour exemple l'anglais et le français¹⁰. En anglais, on peut distinguer 4 types de proéminences : la syllabe non-accentuée (réduite), la syllabe portant l'accent lexical ("stressed"), la syllabe portant l'accent de groupe ("accented"), la syllabe portant l'accent de groupe nucléaire (nuclear pitch accented"). En français, on peut distinguer deux types d'accents : un accent final (primaire, de groupe...) et un accent initial (secondaire, didactique, ictus...). En français l'accent est une entité supra-lexicale et il s'associe, pour l'accent final surtout, à la notion de frontière de constituant : c'est un accent principalement démarcatif. Par contre, en anglais l'accent est principalement une unité de tête de constituant. La figure 1.4 illustre ces différentes proéminences en présentant pour chaque type d'accent le constituant prosodique auquel il est associé.

Figure 1.4 : Différentes catégories de proéminence avec les constituants dont ils sont la tête. Voir texte pour explications.

Hiérarchie de proéminence "heads"	Hiérarchie de constituants	
	anglais	français
Accent Lexical Accent de Groupe Accent de Groupe Nucléaire	Pied (foot) ? Groupe Int. Intermédiaire	∅ Groupe Accentuel (Accentual Phrase) ∅
Accent Initial	∅	? (UT, GA, GI)

a- L'accent lexical ("stress") : l'accent lexical est une propriété lexicale. Dans les langues à accent lexical (comme l'anglais), cette proéminence est fixée sur une syllabe particulière dans le mot et la position de l'accent peut être distinctive [Garde 1968]. Parmi les accents lexicaux en anglais, on peut distinguer un accent primaire et un accent secondaire (voir même d'autres niveaux, cf. Chomsky & Halle 1968). Le domaine de l'accent lexical en anglais est le pied ("foot") qui se définit dans cette langue comme un groupe de syllabes incluant une syllabe accentuée plus toutes les syllabes non-accentuées suivantes. Un mot peut être constitué de plusieurs pieds. Acoustiquement, la syllabe portant l'accent lexical ("stressed") se distingue de la syllabe non-accentuée ("unstressed") par la présence d'une voyelle pleine (non réduite), qui peut être de plus forte amplitude et généralement plus longue [Beckman & Edwards 1994]. Le français n'a pas d'accent lexical distinctif.

b- L'accent de groupe ("accent") : l'accent de groupe a pour domaine un constituant supérieur au Mot. En anglais, l'accent de groupe ("pitch accent") tombe sur une syllabe accentuée (i.e. portant l'accent lexical) d'un des mots du groupe intonatif intermédiaire ("intermediate phrase"). Sa position est influencée par différents facteurs (sémantiques, pragmatiques, distinction thème/rhème) [ex. Bolinger 1958]. Acoustiquement, cet accent se réalise par une variation mélodique (d'où son nom "pitch accent") haute ou basse et un allongement. Il peut y avoir plusieurs "pitch accents" dans un groupe intonatif intermédiaire. Parmi ces "pitch accents", il faut distinguer, en anglais, un accent plus proéminent que les autres : l'accent de groupe nucléaire ("nuclear pitch accent", "accent tonique", "sentence accent") qui est le dernier accent d'un Groupe Intonatif Intermédiaire. Acoustiquement, l'accent de groupe nucléaire est souvent marqué par une variation mélodique plus ample et un

¹⁰ Pour un examen plus détaillé, voir entre autres, pour l'anglais: Bolinger 1958, Beckman 1986, Beckman & Edwards 1994, Ladd 1996 ; pour le français : Garde 1968, Rossi et al. 1980, Vaissière 1989, Sabio 1996, Hirst & Di Cristo 1997.

allongement plus grand que pour les "pitch accent" pré-nucléaires¹¹ [Beckman & Edwards 1994]. L'accent nucléaire est la tête du Groupe Intonatif Intermédiaire (intermediate phrase). Par contre, les accents de groupe pré-nucléaires ne semblent pas associés à un constituant prosodique particulier dont ils pourraient former la "tête" [Beckman & Edwards 1990, Shattuck-Hufnagel & Turk 1996]. L'accent de groupe pré-nucléaire se différencie donc des autres accents de groupe uniquement sur la hiérarchie de proéminence où il occupe un niveau intermédiaire entre l'accent lexical et l'accent de groupe nucléaire.

En français, l'accent que l'on appelle "final, primaire, logique, interne..." est un accent de groupe [Grammont 1933, Delattre 1938, ...]. Il se réalise sur la dernière syllabe d'un mot ou d'un groupe de mots qui forment, selon Grammont, une unité de sens. J'appellerai ce groupe, le Groupe Accentuel. Il correspond au "mot prosodique" de Martin (1987), Di Cristo (1978), Vaissière (1992). Cet accent de groupe a une fonction essentiellement démarcative : il marque la fin d'un groupe accentuel. L'utilisation du terme "pitch accent" pour l'accent français est inadéquate car si cet accent est marqué acoustiquement par une variation mélodique, il l'est surtout par un allongement de la syllabe finale.

c- L'accent initial en français : le français a un autre type d'accent dont la nature a soulevé de nombreux débats. l'accent initial (accent d'insistance¹², secondaire, didactique, rythmique, ictus mélodique...). L'accent initial apparaît le plus souvent sur la syllabe initiale du groupe, mais il peut apparaître sur une syllabe plus tardive : entre la première et la troisième syllabe [Hirst & Di Cristo 1984, Pasdeloup 1990, Jun & Fougeron 1995, 1997, Hirst & Di Cristo 1996]. Il a la particularité d'être optionnel et son apparition est conditionnée par différents facteurs tels que le rythme [Pasdeloup 1990, Dellais 1995], le style de parole [Vaissière 1975, Lucci 1983] ou le locuteur [Vaissière 1975]. Acoustiquement, l'accent initial est marqué essentiellement par une montée de f₀. Son domaine de réalisation est encore en question : pour Hirst et Di Cristo, il est une propriété de l'unité tonale (UT) ; pour Jun et Fougeron ou Mertens, il est une propriété du Groupe Accentuel (GA) ; pour Rossi ou Vaissière il peut être une propriété du Mot, de la phrase ou du Groupe Intonatif (GI).

d- L'accent focal ou emphatique : l'accent focal est un accent "syntactico-pragmatique" [Di Cristo & Hirst 1997]. En anglais, il se réalise comme un accent de groupe nucléaire (mais un accent nucléaire n'est pas toujours un accent focal). Il tombe sur la syllabe accentuée (stressed) du mot mis en emphase, mais il peut aussi tomber sur une syllabe ne portant pas d'accent lexical si cette syllabe est en contraste (ex. "export" vs. "deport"). En français, l'accent emphatique se réalise souvent sur la syllabe portant l'accent initial, mais il peut aussi se réaliser sur la syllabe portant l'accent final ou sur les deux (initial et final). Acoustiquement, l'accent focal est marqué, en français, par une montée de f₀ et une augmentation d'intensité [Touati 1987, Pasdeloup 1990, Jun & Fougeron 1998, Hirst & Di Cristo à paraître].

A.2. Manifestations articulatoires de l'accent en français

Il existe peu d'études articulatoires systématiques sur les effets de l'accent en français comparativement aux travaux effectués sur l'anglais. Je présenterai ici en détail, quelques unes de ces études. Le type d'accent étudié est principalement l'accent final ou l'accent emphatique. Je n'ai pas connaissance d'étude comparant les caractéristiques articulatoires de différents types d'accent (final, initial, emphatique) en français.

Straka (1963) n'a pas entrepris une observation systématique des différences articulatoires entre syllabes accentuées et non accentuées. Il aborde les variations observées sous l'accent lorsqu'il présente les caractéristiques de la parole renforcée (que j'aborderai en détail plus loin). Il ne précise pas non plus ce qu'il entend exactement par accent. En général, il regroupe les variations observées sous un accent d'intensité (probablement emphatique) avec celles observées sous l'accent final de groupe. Pour lui, les différences entre syllabes accentuées et non accentuées relèvent d'une différence de force articulatoire. Les syllabes accentuées, articulées avec plus de force, maximisent les différences d'aperture entre consonnes et voyelles. Les gestes articulatoires sont plus longs et plus extrêmes. En conséquence, les consonnes sont plus fermées et les voyelles

¹¹ L'accent nucléaire est perçu comme plus proéminent par les auditeurs même s'il ne se distingue pas des autres accents pré-nucléaires par des caractéristiques acoustiques précises [p. ex. Shattuck-Hufnagel & Turk 1996].

¹² Cette appellation "d'accent d'insistance" porte à confusion car cet accent n'est pas un accent emphatique. L'accent emphatique peut se réaliser sur la syllabe portant l'accent initial, mais l'accent initial n'est pas par nature emphatique.

plus ouvertes. Il présente des images cinéradiographiques d'un /a/ accentué final et d'un /a/ inaccentué. Sur ces images les positions de la mâchoire et de la langue sont nettement plus basses pour le /a/ accentué.

Simon (1967) observe aussi qu'indirectement les effets de l'accent dans son étude sur les caractéristiques articulatoires des consonnes françaises à la lumière de la cinéradiographie. Son corpus de phrases françaises est très varié et il ne lui permet pas de comparer toutes les syllabes dans des positions comparables avec seulement un changement d'accent. Pourtant, elle consacre une petite section aux caractéristiques des syllabes accentuées en fin de phrase (portant l'accent final en fin de Groupe Intonatif). Pour les consonnes, elle observe que la durée de la tenue articulatoire varie en fonction de l'accent. Les consonnes d'attaque dans les syllabes accentuées ont des tenues articulatoires plus longues comparées aux mêmes consonnes dans des syllabes non-accentuées (p.210). L'allongement de la tenue consonantique se fait généralement dans un rapport de 1 à 2. Il est parfois plus petit mais jamais inférieur à un rapport de 2 à 3. Pour les voyelles, il y a également un allongement de la tenue vocalique sous l'accent : alors que l'articulation des voyelles non accentuées se caractérise par un mouvement articulatoire continu (sans tenue), les voyelles accentuées se caractérisent par une tenue articulatoire marquée. La différence de réalisation entre voyelles accentuées et non accentuées est donc très nette. Elle conclue que l'effet de l'accent sur la durée des tenues est plus sensible pour les voyelles que pour les consonnes. Simon ne présente malheureusement pas de données sur l'amplitude des mouvements articulatoires sous l'accent.

Dans son travail sur les caractéristiques articulatoires des voyelles françaises, Brichler-Labaeye (1970) étudie principalement des voyelles portant un accent final. Elle observe tout de même secondairement quelques unes des voyelles prétoniques (ou antéprétonique) de son corpus pour les comparer aux voyelles accentuées. Comme Simon, elle remarque que les voyelles inaccentuées se caractérisent par une durée plus courte et surtout une absence de tenue articulatoire. Les voyelles inaccentuées sont "plus sommairement articulées" (1970:104). Elle n'examine en détail que la voyelle ouverte /a/ en position inaccentuée et montre qu'elle est plus fermée que /a/ accentuée. Pour les voyelles fermées, elle cite les travaux de Chlumsky (1938) ou de Rousselot (1901) qui ont montré que la voyelle /i/ est moins fermée en position inaccentuée par rapport à /i/ accentuée.

Contrairement aux études précédentes, Giot (1977) a entrepris une analyse systématique des effets de l'accent final sur l'articulation des syllabes en français. Son corpus est constitué de syllabes composées d'une consonne et d'une des quatre voyelles antérieures non-arrondies françaises /i, e, E, a/. Son étude repose sur des données cinéradiographiques et une analyse sonographique. Il observe qu'en position accentuée, la voyelle ouverte /a/ a une ouverture plus grande associée à une augmentation de F1 et une diminution de F2. Sa durée augmente aussi et elle montre une phase de tenue alors que la voyelle inaccentuée la perd. Les voyelles antérieures non-ouvertes /i, e, E/ en position accentuée ont une moins grande ouverture sous le palais (ou sous les alvéoles pour /i/) qu'en position inaccentuée. Cette diminution de la taille du résonateur antérieur s'accompagne d'une diminution de F1 pour /i/ et /E/. Pour /e/, F1 est stable ou diminue dans la plupart des cas, mais augmente dans d'autres. Les trois voyelles ont également une augmentation de F2 en position accentuée. En résumé, comparées à leurs contreparties non-accentuées, les voyelles antérieures non ouvertes accentuées sont plus fermées et plus antérieures, et la voyelle ouverte /a/ est plus ouverte sous l'accent.

Vatikiotis-Bateson (1988) puis Fletcher & Vatikiotis-Bateson (1994), observent les mouvements du complexe mâchoire-lèvre en fonction de l'accent en français. Le corpus est en parole réitérée et les auteurs regroupent, dans la catégorie des syllabes accentuées, les syllabes portant l'accent initial et les syllabes portant l'accent final. Ils montrent que les mouvements ont une durée, un déplacement et une vitesse plus grands pour les syllabes accentuées en français. Dans la seconde étude (1994), les auteurs comparent les syllabes accentuées en fin de Groupe Intonatif (précédant une pause) et les syllabes accentuées internes dans le Groupe Intonatif (portant l'accent final ou l'accent initial). Ils trouvent que les syllabes accentuées finales ont des gestes encore plus longs, grands et rapides que les syllabes accentuées non-finales. Ils en concluent que la distinction entre syllabes accentuées et non accentuées résulte d'une différence dans la spécification des paramètres cinématiques internes aux gestes (intra-gestes), alors que la différence entre syllabes accentuées finales et non-finales relève d'une différence de coordination entre les gestes de fermeture et d'ouverture (inter-gestes).

Meynadier et al. (1998) montrent que l'accent focal modifie aussi l'articulation linguale des consonnes en français. Ils observent, avec l'électropalatographie, les variations d'articulation linguale de groupes consonantiques allant jusqu'à quatre consonnes (/kskl/). Les séquences sont produites avec un accent focal contrastif placé sur la voyelle précédant ou suivant le groupe de consonnes et sont comparées à des séquences

sans accent. Les auteurs montrent que la présence d'un accent focal allonge la durée globale du groupe de consonnes et de chaque consonne. L'intervalle temporel entre le relâchement d'une occlusion et la formation de l'occlusion suivante est plus long sous l'accent. Cet allongement n'est pas le résultat d'une réduction de la période de chevauchement entre les consonnes, mais d'un allongement de la durée de la tenue de l'occlusion (non chevauchée) et de la phase de relâchement de chaque consonne.

En résumé, ces études montrent en français que, dans une syllabe accentuée (portant un accent final, initial ou emphatique), les gestes articulatoires des consonnes et des voyelles sont généralement plus amples, plus longs et parfois plus rapides que dans les syllabes non-accentuées. Les voyelles accentuées, comparées aux voyelles inaccentuées, ont une position de la langue plus périphérique.

A.3. Manifestations articulatoires de l'accent en anglais et dans d'autres langues

Les manifestations articulatoires de l'accent en anglais ont fait l'objet de nombreuses études. Je n'en présenterai ici que quelques unes. Dans un premier temps, je passerai en revue quelques études qui ont montré que les variations articulatoires sous l'accent permettent de distinguer différents niveaux accentuels en anglais. Puis, je présenterai des études montrant des résultats contradictoires en ce qui concerne les effets de l'accent en fonction de l'identité des segments étudiés.

A3.a. Des manifestations articulatoires différentes en fonction du type d'accent ?

Plusieurs types d'accent peuvent se distinguer en anglais à partir de leur corrélats articulatoires.

Stone (1981) a examiné les corrélats articulatoires de différents types d'accent en anglais en comparant les déplacements et les vitesses des mouvements d'ouverture de la mâchoire. Elle trouve que la vitesse du mouvement d'ouverture de la mâchoire permet de distinguer 3 degrés d'accent : sans accent (unstressed), accentuée lexicalement (stressed), accent de groupe ("prominently stressed, beat syllable" qui correspond à l'accent nucléaire). La rapidité de l'ouverture de la mâchoire augmente progressivement entre ces trois types de syllabes. Par contre, le déplacement de la mâchoire semble plus variable et dépend des variations phonémiques, du débit et de la position dans la suite. La vitesse des mouvements apparaît donc dans cette étude comme un corrélat plus fiable du degré d'accentuation que le déplacement des gestes articulatoires.

Beckman et Edwards (1994) comparent les corrélats articulatoires de 3 degrés de proéminence en anglais : syllabes non-accentuée ("unstressed", réduite), syllabe portant l'accent lexical ("stressed") et syllabe portant l'accent de groupe nucléaire ("accented", contrastif). Elles examinent le mouvement de la lèvre inférieure et de la mâchoire pour la syllabe [pA]. L'effet articulatoire le plus remarquable est celui qui différencie la syllabe portant l'accent lexical (stressed) de la syllabe non accentuée (unstressed). La syllabe accentuée a une voyelle pleine, articulée avec un mouvement d'ouverture de la mâchoire beaucoup plus long, un déplacement plus ample et une vitesse plus grande que dans le cas de la voyelle réduite de la syllabe non-accentuée. La syllabe accentuée est également plus longue. Par contre, lorsque les auteurs comparent les syllabes ayant toutes une voyelle pleine mais un niveau de proéminence différent (accent lexical vs. accent nucléaire) la distinction articulatoire est moins évidente. La syllabe portant l'accent nucléaire est généralement plus longue (3 locuteurs sur 4) que la syllabe portant l'accent lexical. Cet allongement peut être associé à un geste d'ouverture un peu plus ample et plus rapide, mais ces caractéristiques ne sont pas présentes chez tous les locuteurs ni à tous les débits de parole. Les auteurs en concluent que la spécification des proéminences d'un niveau supérieur, comme l'accent de groupe et l'accent nucléaire, se fait principalement par une variation de f_0 et optionnellement par une variation articulatoire (principalement un allongement). La plus grande variation articulatoire se fait entre voyelle pleine et voyelle réduite.

Dans leur étude de 1992, Beckman et al. examinent plus en détail les caractéristiques articulatoires responsables de l'allongement de la syllabe portant l'accent nucléaire. Elles comparent des syllabes portant un accent nucléaire (non contrastif) et des syllabes ne portant pas d'accent de groupe (unaccented) mais portant l'accent lexical. Dans cette étude, elles examinent les propriétés cinématiques des gestes de la mâchoire. L'allongement des syllabes portant l'accent nucléaire (non contrastif) s'explique par des gestes d'ouverture et de

fermeture de la mâchoire plus longs. Les gestes d'ouverture et de fermeture de la mâchoire ont aussi un déplacement plus ample (env. 2 mm). Le geste d'ouverture de la mâchoire a une vélocité plus grande dans la syllabe accentuée. Pourtant, l'allongement de la syllabe n'est pas dû à une augmentation de la raideur des gestes mais à une différence de coordination temporelle entre gestes d'ouverture et de fermeture. Pour les syllabes portant l'accent nucléaire, le conduit vocal reste ouvert plus longtemps car le geste de fermeture de la mâchoire commence plus tard par rapport au geste d'ouverture. Ce délai entre fermeture et ouverture peut expliquer le plus grand déplacement du geste d'ouverture qui n'est pas tronqué par le geste de fermeture comme dans le cas des syllabes non-accentuées.

En résumé, ces études montrent qu'en anglais il est parfois possible de distinguer 3 niveaux de proéminences à partir de leurs caractéristiques articulatoires. La distinction la plus frappante apparaît entre la syllabe non-accentuée réduite et la syllabe portant l'accent lexical. Cette dernière est marquée par l'articulation d'une voyelle pleine, plus longue et plus ouverte. La distinction entre accent lexical et accent nucléaire est relativement moins nette. La syllabe portant l'accent nucléaire est généralement plus longue et a une position de la mâchoire plus ouverte (que cette ouverture soit le résultat d'une augmentation de vélocité ou d'un phasage plus tardif du geste de fermeture). La plus grande ouverture de la mâchoire pour les syllabes portant un accent nucléaire emphatique a aussi été montrée par Erickson et Fujimura (1992).

A3.b. Des variations articulatoires différentes en fonction du type de segment?

Dans les études présentées ci-dessus, il apparaît que l'accent est marqué par une variation dans le mouvement de la mâchoire. Plusieurs auteurs ont noté que la position de la mâchoire est particulièrement sensible aux variations liés à la présence d'un accent [Kent et Netsell 1971, Giot 1977, Beckman et al. 1992, 1994]. Ceci a conduit certains auteurs à considérer la mâchoire comme l'articulateur marquant l'organisation prosodique [Macchi 1988, Beckman et al. 1992]. Or, si la position de la mâchoire contribue à la distinction articulatoire entre voyelle et consonne, elle ne contribue que peu à la spécification phonologique des différents phonèmes. Il est possible que la mâchoire puisse varier plus librement en fonction de l'accent que d'autres articulateurs, comme la langue, le velum ou les lèvres, dont la position contribue directement à la spécificité des traits articulatoires segmentaux. Nous allons voir par la suite si ces autres articulateurs sont affectés par l'accent.

Cette question est particulièrement intéressante si l'on considère des segments d'aperture différentes. Dans la plupart des études présentées ci-dessus, les syllabes observées sont composées d'une occlusive et d'une voyelle ouverte [Beckman et al. 1992, 1994, Erickson & Fujimura 1994, 1996, (mais /a/ et /e/ pour Stone 1981)]. L'augmentation de l'ouverture de la mâchoire sous l'accent contribue donc à renforcer le caractère distinctif de la voyelle ouverte. Nous verrons ce qui se passe pour des segments dont les spécificités articulatoires sont en conflit avec une augmentation d'ouverture, en particulier pour les voyelles fermées.

α. Articulation linguale en fonction de l'accent

Le sens des variations de la position de la langue en fonction des voyelles varie suivant les études.

Houde (1967) observe que la langue est plus basse pour toutes les voyelles sous l'accent en anglais.

Au contraire, Kent et Netsell (1971) montrent, également en anglais, que l'effet de l'accent lexical sur la position de la langue varie en fonction de la qualité de la voyelle : les variations vont dans le sens de la "cible présumée" de la voyelle. Un [i] accentué a une position de la langue plus haute et plus avancée, alors qu'un [ae] accentué a une position de la langue plus basse.

Macchi (1985) observe aussi que l'effet de l'accent lexical sur le complexe langue/mâchoire varie suivant les voyelles en anglais. Toutes les voyelles accentuées ont une position de la mâchoire plus basse, ce qui a pour conséquence une ouverture de la cavité buccale antérieure pour toutes les voyelles. Par contre, l'ouverture de la mâchoire est associée à un abaissement de la langue pour les voyelles ouvertes [A] et [U] mais pas pour les voyelles non-ouvertes [u, i, E]. Pour ces voyelles, la langue maintient sa constriction orale et n'est donc pas affectée par l'accent.

De Jong (1995) présente des résultats similaires dans son étude sur les corrélats articulatoires de l'accent nucléaire (contrastif) pour différents types de segments en anglais. Globalement, il trouve que la proéminence est marquée par une augmentation des déplacements articulatoires de la mâchoire, de la langue et des lèvres. En ce qui concerne la langue, les variations sous l'accent dépendent du type de voyelle et contribuent à rendre les voyelles plus périphériques. Le corps de la langue est plus bas pour les voyelles ouvertes, plus haut pour les voyelles non-ouvertes (ex. "toes", "toast") et plus postérieur pour les voyelles arrières non-ouvertes (ex. "put").

Farnetani et Vayra (1996) confirment cet effet variable de l'accent en fonction du segment en italien. Ils observent des syllabes portant ou non un accent lexical. Leurs données électropalatographiques montrent que les variations d'articulation linguale sous l'accent renforcent les caractéristiques des segments : [a] est plus ouvert, [i] est plus fermé, [u] est plus postérieur (et [t] a une occlusion plus large) sous l'accent.

Harrington, Fletcher et Beckman (1998) comparent les effets de l'accent sur les mouvements de la mâchoire et de la langue pour des voyelles fermées et ouvertes en anglais australien. Les syllabes étudiées portent l'accent de groupe nucléaire et sont comparées à des syllabes portant l'accent lexical ("stressed" mais "unaccented"). La présence d'un accent nucléaire abaisse la mâchoire pour la voyelle ouverte mais aussi pour la voyelle fermée. Cet abaissement de la mâchoire s'accompagne d'une augmentation de l'énergie des voyelles. Par contre, les effets de l'accent sur la position de la langue varient en fonction des locuteurs. Pour la voyelle fermée /i/ accentuée, la langue est plus antérieure et plus basse pour un locuteur. Pour l'autre locuteur, la langue est plus haute. Acoustiquement, les variations articulatoires provoquent une élévation de F1 pour un locuteur et de F2 pour les deux locuteurs. Les auteurs concluent que les locuteurs utilisent deux stratégies différentes qui visent à renforcer les caractères distinctifs de la voyelle fermée /i/ sous l'accent : un locuteur produit une voyelle plus fermée (langue plus haute), l'autre locuteur produit une voyelle plus antérieure (langue plus avancée). Mais pour les deux locuteurs, ces variations s'accompagnent d'une ouverture de la mâchoire.

β. Articulation labiale en fonction de l'accent

Kent et Netsell (1971) observent que la protrusion des lèvres pour les voyelles arrondies en anglais est augmentée sous l'accent pour seulement un locuteur. Le deuxième locuteur a, dans tout les cas, peu de protrusion et celle-ci n'est pas affectée par l'accent. De Jong (1995) montre que la consonne labiale anglaise /p/ a une protrusion et une approximation des lèvres inférieure et supérieure plus grands sous l'accent nucléaire. La voyelle /U/ de "put" présente aussi une augmentation de la protrusion et de l'abaissement de la lèvre supérieure en position accentuée pour deux des trois locuteurs.

Harris et al. (1968) en anglais et Slis (1971) montrent que l'activité électromyographique (EMG) des lèvres est plus grande sous l'accent. En néerlandais, Slis montre que l'augmentation d'activité EMG pour un /p/ est environ 16% plus forte pour une syllabe portant l'accent lexical et 20% plus forte pour une syllabe portant un accent emphatique, comparé à une syllabe non accentuée.

γ. Articulation nasale en fonction de l'accent

Vaissière (1988) observe les mouvements du velum en anglais en fonction de la présence/absence d'un accent lexical. Elle montre un effet de l'accent sur des consonnes orales et nasales, mais cet effet est fonction de la place de la consonne dans le mot (et la syllabe). En position initiale, les consonnes orales et nasales ont une position du velum plus élevée dans une syllabe accentuée que dans une syllabe non accentuée. En position coda, les consonnes orales et nasales ont une position du velum plus basse dans une syllabe accentuée que dans une syllabe non accentuée. Krakow (1989, 1993) confirme pour les consonnes orales anglaise une élévation plus importante du velum sous l'accent. Pour les consonnes nasales accentuées, dans des syllabes CVN ou NVC, elle remarque que le velum reste ouvert plus longtemps que dans les syllabes non-accentuées. Slis (1971) citant Fritzell (1969) note que les muscles du velum ont une activité plus importante sous l'accent en anglais.

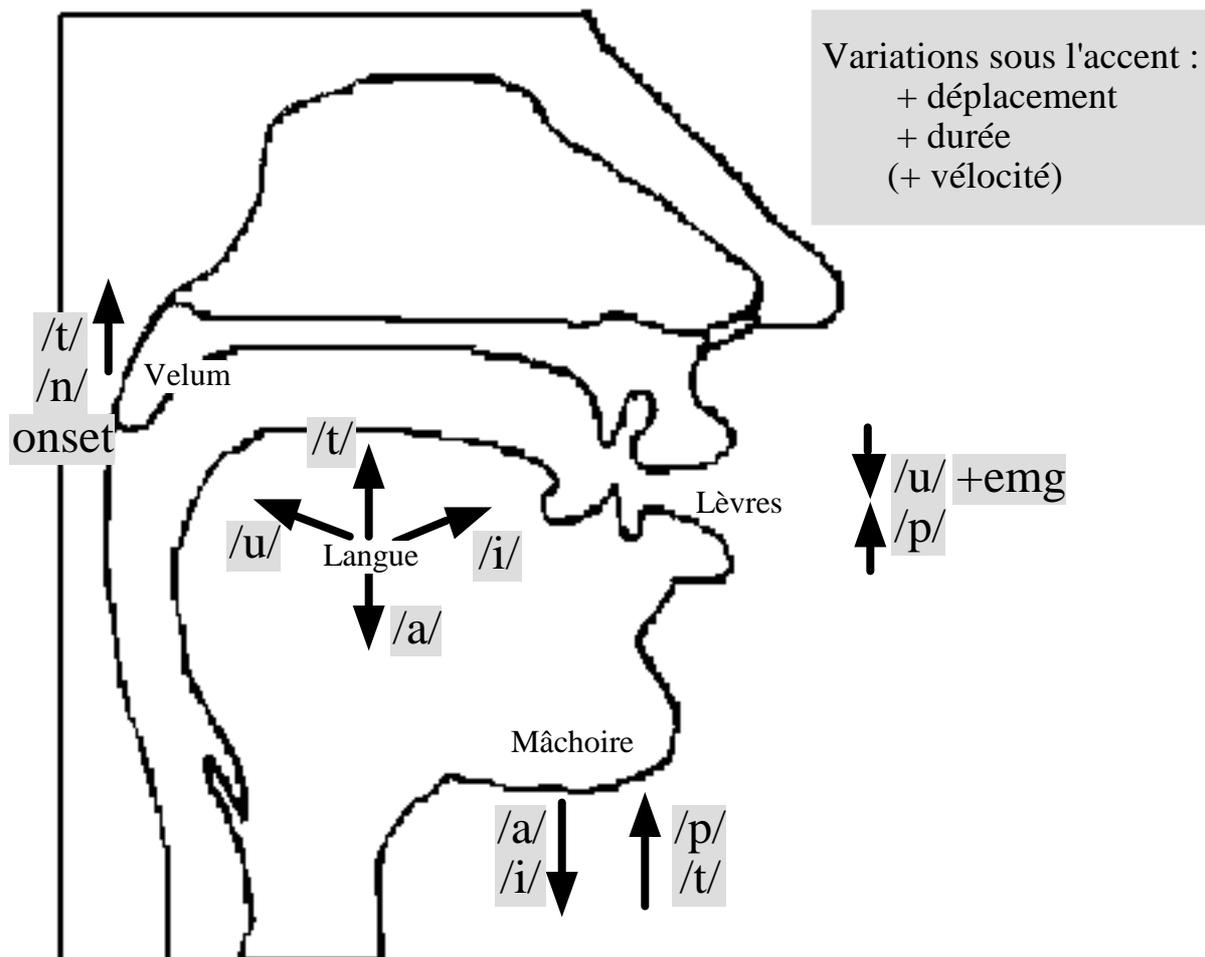
En ce qui concerne les voyelles, Krakow (1993) observe en anglais que l'effet de l'accent sur la position du velum pour des voyelles orales varie en fonction des locuteurs. Pour un des deux locuteurs, il y a une mise en valeur des différences de positions intrinsèques du velum : /i/ a un velum plus haut sous l'accent et /a/ a un velum plus bas sous l'accent. Par contre, pour l'autre locuteur, le velum est systématiquement plus bas pour les voyelles accentuées, indépendamment de leur hauteur.

A.4. Conclusion sur les variations articulatoires en fonction de l'accent

Pour résumer les résultats présentés dans cette section, on peut dire que la présence d'un accent (quel qu'il soit) a un effet sur l'articulation supraglottale des segments. La mâchoire ainsi que les autres articulateurs (langue, velum, lèvres) voient leurs caractéristiques cinématiques modifiées par la présence-absence de l'accent. Ceci a été montré ici aussi bien pour le français que pour l'anglais (et quelques autres langues). L'accent affecte toute la syllabe accentuée : l'articulation des consonnes et des voyelles est modifiée.

La figure 1.5 résume les variations articulatoires observées sous l'accent, par articulateur et par type de segment. Les occlusives orales (/t/ par exemple) ont sous l'accent une tenue articulatoire plus longue (ex. Simon en français), une position de la mâchoire plus haute (ex. De Jong en anglais), une position de la langue plus haute (ex. Farnetani et Vayra pour l'italien) et une position du velum plus élevée (ex. Vaissière pour les consonnes initiales, Krakow pour l'anglais). Pour les voyelles, la mâchoire est plus basse sous l'accent pour tous les types de voyelles (Macchi, Beckman, Stone, Harrington et al., Straka...). Par contre la position de la langue sous l'accent varie dans des directions différentes en fonction du type de voyelle et contribue à rendre les voyelles plus extrêmes (périphériques). La direction des variations articulatoires sous l'accent dépend donc des articulateurs, des segments et parfois des locuteurs.

Figure 1.5 : Résumé des variations articulatoires observées sous l'accent. Les variations sont illustrées par articulateurs avec un exemple de segment représentant sa catégorie (ex. /t/ pour occlusive orale, /a/ pour voyelle ouverte).



II.B. Variations segmentales en fonction de la position dans un constituant prosodique

Après avoir vu quelles variations articulatoires ont été observées en position accentuée, nous allons examiner comment l'articulation des segments varie en fonction de leur position dans un constituant prosodique, c'est à dire en fonction de leur *position prosodique*.

On peut distinguer trois types de positions dans un constituant : la position *initiale*, les positions *médianes* et la position *finale*.

La position finale et la position initiale sont des *positions frontières*. Les segments placés en position initiale et finale sont à la fois aux frontières d'un constituant donné et à la frontière entre deux constituants. Le *niveau prosodique de la frontière* entre constituants va dépendre du niveau de ces constituants dans la hiérarchie prosodique. Plus les constituants sont hauts dans la hiérarchie, plus le poids prosodique de la frontière est important. Par exemple, la frontière entre deux Groupes Intonatifs a un poids supérieur à celui d'une frontière entre deux Mots.

Ainsi, tout comme pour l'accent, si l'on veut étudier les variations articulatoires en fonction de la position prosodique, il faut définir le niveau prosodique du constituant considéré. Or, dans de nombreuses études, le niveau hiérarchique des constituants (et donc des frontières) n'est pas contrôlé. Par exemple, certains parlent de variations en fonction de la position dans la Syllabe, alors que les items étudiés sont des mots monosyllabiques ou des mots isolés. Or, dans un monosyllabique, les positions dans la Syllabe sont confondues avec celles dans le Mot, et lorsque les items sont produits isolément ils forment par eux même un Groupe Accentuel ou Intonatif et les positions examinées relèvent de niveaux supérieurs.

Dans ce chapitre, je présenterai en premier lieu (B.1) les variations articulatoires observées dans des constituants de niveau inférieur : la Syllabe et le Mot. Dans les différentes études, il est le plus souvent question de comparer position initiale et position finale au sein du constituant.

En second lieu (B.2), j'aborderai des variations articulatoires observées dans des constituants de niveau supérieur au Mot (p.ex. Syntagme Phonologique, Groupe Intonatif). Ces études sont moins nombreuses et relèvent d'un courant relativement récent portant une attention particulière au niveau prosodique du constituant étudié. Cet intérêt répond à la question de savoir *si les variations segmentales peuvent distinguer plusieurs degrés de frontières prosodiques*. Dans ces études, il s'agit alors de comparer la position initiale dans des constituants de niveau prosodique différent (p.ex. début de Mot vs. début de Groupe Intonatif).

Les variations articulatoires en fonction de la position prosodique ont été étudiées dans plusieurs langues. Nous verrons que, dans la littérature, les données sur l'anglais dominant mais des observations isolées ont été faites sur des langues moins "communes" (ex. l'estonien, le coréen, le taiwanais...). Il y a peu d'études sur le français (d'où l'intérêt de mon étude). Dans la partie qui va suivre, je présenterai les résultats en fonction des articulateurs étudiés en regroupant des observations portant sur des langues différentes. Je discuterai dans le chapitre VI de l'universalité du phénomène.

B.1. Variations articulatoires en fonction de la position dans un constituant de niveau inférieur : la Syllabe et le Mot

C'est au niveau de la Syllabe ou du Mot que l'existence d'allophones positionnels (initiaux, médians et finaux) a été le plus étudiée. Depuis longtemps les chercheurs se sont intéressés à la Syllabe en temps qu'unité d'organisation moteur de la parole [Delattre 1940a, Malmberg 1950, 1971, Stetson 1951, Kozhevnikov & Chistovich 1965, etc.]. Ces travaux portent sur la recherche d'indices marquant les frontières syllabiques sur le plan physiologique et/ou acoustique. L'objectif est de définir la syllabe, non seulement comme unité de représentation linguistique, mais aussi comme unité structurelle de production. Au niveau du Mot, la recherche d'allophones positionnels répond également au souci de trouver dans le signal continu de parole des indices de frontières entre unités lexicales. L'identification d'une unité phonétique correspondant au Mot permettrait alors de comprendre les processus de segmentation et reconnaissance lexicale utilisés par l'auditeur.

Lehiste (1960, 1961, 1964) a entrepris une recherche remarquable sur les manifestations acoustiques des frontières (de syllabe, de mot, de morphème) et en particulier sur les variations allophoniques de certains segments en fonction de leur position. Elle considère qu'il est possible de distinguer dans le continuum de parole des points de segmentation comme la présence de certains allophones positionnels. Par exemple, d'après le spectre formantique de /l/, elle distingue un allophone initial d'un allophone final. L'apparition d'un allophone de type initial au milieu d'un mot lui permet alors de délimiter une frontière de morphème, distinguant par exemple le morphème "-ly" dans le mot "highly" comparé au mono-morphémique "wily".

Note préliminaire sur la distinction entre "attaque" et "coda": une différence de position mais aussi une différence de combinatoire entre son :

La plupart des études que nous allons voir portent sur les différences d'articulation entre consonnes initiales et consonnes finales. Peu d'études présentent de comparaison avec la position médiane et très peu de résultats sont donnés pour les variations d'articulation vocalique.

Or, dans une Syllabe ou un Mot monosyllabique, les consonnes en position initiale et finale se distinguent par une différence de position mais aussi par une différence de *combinatoire entre les sons*. Dans une syllabe CVC, la consonne initiale (l'attaque) est une consonne pré-vocalique. La consonne finale (la coda) est une consonne post-vocalique. La direction des mouvements articulatoires pour ces deux types de consonnes est donc différente. Pour la consonne d'attaque les articulateurs s'ouvrent à partir d'une fermeture consonantique vers une ouverture vocalique. Pour la consonne coda, les articulateurs se ferment d'une ouverture vocalique vers une fermeture consonantique. Les forces aérodynamiques, la tension des articulations et la coordination des différents mouvements ne sont donc pas les mêmes. En conséquence, les informations acoustiques qui caractérisent ces segments sont différentes [voir p. ex. Malmberg 1950, Delattre et al. 1955, Fujimura et al. 1978, Gow et al. 1996].

Dans cette section, pour faciliter l'exposé et la comparaison avec les sections suivantes, je présenterai les observations en appuyant sur les différences observées en position initiale. Néanmoins, dans la littérature, les variations articulatoires observées sont le plus souvent présentées en insistant sur la réduction des mouvements articulatoires en position coda. Les variations articulatoires seront listées en fonction de l'articulateur observé.

α. Syllabe-Mot : Articulation glottale

Dans plusieurs langues, la présence d'une frontière de Syllabe ou de Mot peut être associée à une modification du type de phonation : laryngalisation, aspiration, insertion d'un coup de glotte. Cette modification affecte aussi bien les consonnes que les voyelles initiales.

Les consonnes initiales : L'aspiration de la consonne sourde en position initiale dans une Syllabe en anglais est la plus connue des variations allophoniques positionnelles [voir p. ex. Kahn 1976]. Cette aspiration est un indice important pour la segmentation syllabique dans une suite VCV : l'aspiration de la consonne marque la coupe syllabique /V.CV/ (où le point marque la frontière syllabique) [Lehiste 1960]. Garding (1967) observe que l'aspiration a un poids informatif similaire en suédois. Cooper (1991) a montré à l'aide de données de transillumination que le geste d'ouverture de la glotte est plus grand et plus long pour des consonnes placées en début de Mot en anglais par rapport à des consonnes initiales dans une Syllabe mais placées en milieu de Mot. Ce geste, plus ample à l'initiale, commence aussi plus tôt par rapport à l'occlusion orale (linguale ou labiale).

En fin de Mot, par contre, le geste glottal est souvent réduit. Par exemple, les occlusives anglaises peuvent se dévoiser en fin de Mot [Keating, Linker & Huffman 1983]. Lisker & Baer (1984) expliquent ce dévoisement par le fait que le geste d'ouverture glottale est souvent absent dans cette position (la glotte restant en état de constriction). Sa trace reste présente dans les données EMG mais l'activité musculaire associée au geste d'ouverture de la glotte a une amplitude réduite en fin de Mot. Kohler (1992) ajoute que cette modification (tout comme la réduction de l'aspiration des consonnes finales dans certains dialectes britanniques) peut aussi résulter de la diminution du débit d'air en position finale.

Les voyelles initiales : Pour les voyelles, les modifications d'articulation glottale sont généralement un indice de frontières au niveau du Mot. En anglais et en allemand, par exemple, les voyelles en position initiale dans un Mot sont fréquemment glottalisées [Umeda 1978, Gimson 1980, Kohler 1994]. Lehiste (1964) observe aussi une brève période de laryngalisation ou l'insertion d'un coup de glotte pour la voyelle initiale d'un Mot en finnois et en tchèque. Cette laryngalisation, que Lehiste appelle un "boundary segment", permet de distinguer une suite de voyelles /VV/ séparées par une frontière de Mot (/V#V/) d'une suite de voyelles séparées par une frontière de Syllabe (/V.V/). La glottalisation de la voyelle initiale peut aussi être un indice de jointure entre morphèmes à l'intérieur d'un mot polymorphémique [Kohler 1994]. Elle est aussi un indice informatif pour la division en Syllabe : dans des suites suédoises VCV, la présence d'un coup de glotte ou une constriction glottale avant la seconde voyelle induit une coupe syllabique VC.V [Garding 1967].

En français par contre, les voyelles initiales de Mot sont rarement glottalisées lorsqu'elles ne sont pas aussi initiales dans un constituant supérieur. L'absence de glottalisation de la voyelle initiale de Mot se fait au profit d'un enchaînement avec la consonne précédente ou d'un hiatus avec la voyelle précédente [p.ex. Delattre 1965].

β. Syllabe-Mot : Articulation de la mâchoire

Contrairement à ce que nous avons vu pour les variations sous l'accent, l'effet de la position prosodique sur l'articulation de la mâchoire a été peu étudié.

Macchi (1988) note une différence dans la hauteur de la mâchoire entre un /p/ en attaque et un /p/ en coda en anglais. Mais ses deux locuteurs présentent des variations opposées : un locuteur a une mâchoire plus basse pour le /p/ en attaque qu'en coda, alors que l'autre locuteur présente l'inverse. Stone (1981) remarque que, pour un degré d'accent constant, le /d/ initial d'une suite de 8-9 syllabes CV, a une position de la mâchoire plus élevée que celle des /d/ suivants.

γ. Syllabe-Mot : Articulation labiale

Pour l'articulation labiale, il existe aussi peu de données sur l'effet de la position prosodique. Pourtant, les quelques données présentées sur l'activité EMG des lèvres sont très informatives.

Fromkin (1965) a montré qu'en anglais, l'activité musculaire de l'Orbicularis Oris était plus importante et plus longue pour une consonne labiale en position initiale dans un Mot. McAllister et al. (1974, cité par van Lieshout et al. 1995) ont également observé que l'activité EMG des lèvres est plus longue et plus importante pour les voyelles arrondies suédoises en début de Mot par rapport au milieu de Mot. En français, Straka (1963) remarque sur des photographies que les lèvres sont plus fortement serrées pour les occlusives labiales en début de Mot ou de Syllabe en français. Bonnot et al. (1986) notent en français que dans des logatomes du type CVCVCV, l'activité musculaire de fermeture des lèvres, la position du pic maximal d'activité, et la durée totale de l'activité, permettent de distinguer l'articulation des consonnes /p/ et /m/ lorsqu'elles sont en position initiale. Il apparaît donc que les voyelles et les consonnes ont une activité musculaire labiale plus importante en position initiale.

En ce qui concerne les mouvements des lèvres, Macchi (1988) n'observe pas de différence dans le mouvement de la lèvre inférieure (auquel elle a soustrait le mouvement de la mâchoire) entre une /p/ en attaque et un /p/ en coda. Krakow (1989) note aussi que la position dans le Mot ou la Syllabe affecte rarement le mouvement des lèvres pour la consonne /m/. Pourtant, lorsque ce mouvement d'occlusion varie, c'est dans le sens d'une augmentation d'amplitude et de durée.

δ. Syllabe-Mot : Articulation linguale

C'est pour l'articulation linguale que l'effet de la position prosodique dans une Syllabe ou un Mot a été le plus étudié. Les données relevées dans la littérature concernent des variations dans les mouvements de la langue sur le plan spatial ainsi que des variations de la pression de la langue sur le palais.

Variations spatiales pour les consonnes : Les variations d'articulation linguale en fonction de la position dans le Mot ou la Syllabe ont été observées depuis longtemps par l'Abbé Rousselot en français (1901). Il note sur ses données palatographiques que la surface du contact de la langue sur le palais est plus large pour les consonnes initiales que pour les consonnes finales. Ces résultats sont confirmés par les palatographies de Straka (1963). Ce dernier note que cet élargissement du contact linguopalatal correspond à une élévation plus importante de la

langue qui apparaît sur les données cinéradiographiques. En position initiale, la langue est alors largement appliquée contre la voûte palatine. Les tracés palatographiques montrent que l'élargissement du contact se fait aussi bien dans la partie centrale que dans les zones latérales du palais. Cette élévation de la langue affecte les consonnes occlusives mais aussi les consonnes fricatives. Dans son étude palatographique sur les articulations apicales et laminales, Dart (1991) relève une différence dans l'articulation des consonnes antérieures françaises et anglaises entre position initiale et finale dans le Mot. Les variations entre position initiale et finale affectent principalement le lieu d'articulation et la largeur de la constriction. Malheureusement, l'auteur ne décrit pas précisément la nature et la direction des variations observées. Elle ne donne que le nombre de locuteurs (sur 21 français et 20 américains) présentant une variation entre ces positions pour chaque consonne. En français les consonnes /t, d, n, l, s, z/ varient en fonction de la position pour 30 à 50% des locuteurs. En anglais, les consonnes non fricatives varient dans des proportions semblables en fonction de la position, alors que les fricatives sont beaucoup moins affectées qu'en français. La consonne /l/ en anglais, par contre, varie beaucoup plus que le /l/ français.

D'autres études sur l'anglais montrent que les variations des consonnes en fonction de leur position dans le Mot ou la Syllabe consistent, comme en français, en une élévation plus grande de la langue à l'initiale. Ceci a été observé en début de Syllabe pour la pointe de la langue pour /l/, /t/, /n/ et pour le dos de la langue pour /k/ [Browman & Goldstein 1995]. Sur les données électropalatographiques (EPG), cette élévation de la langue se traduit par un élargissement de la surface de contact de la langue sur le palais, souvent associé à un allongement de la durée de l'occlusion [Byrd 1994, 1996, Wright 1994, Keating & Wright 1994, Keating 1995]. Pour la fricative /s/, Byrd (1994) n'observe pas de différence entre position initiale et finale sur le plan spatial (en accord avec les résultats de Dart 1991) mais elle observe que /s/ en position initiale a une durée de constriction plus longue.

Farnetani et Vayra (1996) observent qu'il y a aussi une augmentation du contact linguopalatal en début de Mot en italien. Dans cette étude, les auteurs comparent l'articulation de /t/ en début de Mot à celle de /t/ placé en début de Syllabe mais en milieu de Mot dans des suites CVCVCV. Ils montrent qu'en début de Mot, /t/ a plus de contact linguopalatal qu'en milieu de Mot. Farnetani (1986) montre aussi que le contact linguopalatal pour /n/ en italien est plus long et plus important en début de Mot (après pause) qu'en milieu de Mot.

Variation de pression pour les consonnes : L'augmentation de l'élévation de la langue s'accompagne d'une augmentation de la pression de la langue sur le palais. Rousselot (1901) avance que les consonnes d'attaque sont articulées avec plus de force, ce qu'il déduit sur ses données palatographiques d'après la netteté du contour, l'étendue de l'appui de la langue sur le palais et la rapidité avec laquelle la tache faite par la langue s'efface. Cette idée a été reprise par la suite avec des capteurs de pression permettant de quantifier plus subtilement la pression de la langue sur le palais. McGlone & Proffit (1967) et McGlone et al. (1967) ont montré à l'aide de quelques capteurs que les différences de pression de la langue sur le palais permettent de distinguer une structure syllabique CV d'une structure syllabique VC. La pression de la langue derrière les incisives est plus forte pour les consonnes d'attaque que pour les consonnes coda [McGlone et al., 1967]. Ceci apparaît pour différents type de consonnes occlusives (/n,t,d,l/) mais pas pour la fricative /s/. La différence de position est presque du simple au double pour /n, t/, un peu moins pour /d/ et plus que le double pour /l/. Par contre la différence de pression entre attaque et coda n'apparaît pas sur les capteurs de pression latéraux placés sur les molaires. Il semblerait donc que l'augmentation de la pression se fasse au niveau de la pointe de la langue. Les auteurs ne présentent pas de données pour des consonnes d'arrière qui sont articulées avec le corps de la langue. La différence entre consonnes d'attaque et consonnes coda implique aussi une différence d'alignement temporel entre le maximum de pression et le début de la phonation : pour les consonnes d'attaque, le maximum de pression apparaît au début (et parfois avant) le début acoustique alors que pour les coda, le maximum apparaît vers la fin de la consonne. McGlone et Proffit (1967) remarquent que les différences de pression en fonction de la position de la consonne dans la Syllabe sont plus nettes que les différences de pression entre les différentes catégories de consonnes.

Variations d'articulation linguale pour les voyelles : Comparativement aux consonnes, il y a peu d'études sur les variations articulatoires des voyelles en fonction de leur position. Pourtant, l'articulation des voyelles semble aussi être affectée par leur position lorsque l'on observe les variations articulatoires indirectement, à partir de leurs conséquences spectrales (acoustiques). Lehiste (1964) présente des données sur le finnois, où elle note

qu'une voyelle placée en début de Mot se distingue d'une voyelle placée en début de Syllabe (interne au Mot) par des formants F1 et F2 moins centralisés. Cette voyelle, plus longue et plus périphérique, permet de distinguer des suites /VV/ séparées par une frontière de Mot (dans un mot composé ex: "lintu-ansa") des suites VV séparées seulement par une frontière de syllabe (ex. "lintuansa"). Elle observe ceci pour plusieurs voyelles finnoises /i, u, ä, A/ (pour /i/ augmentation de F2 et diminution de F1 ; pour /u/ diminution de F2 et F1 ; pour /ä, A/ augmentation de F1 surtout). Si l'on interprète les variations de F1 et F2 comme la conséquence d'une différence d'articulation linguale, il semblerait que les voyelles finnoises ont une position de la langue plus périphérique en début de Mot. Par contre, l'auteur note que cette variation de qualité vocalique en début de Mot peut être fonction des langues car elle n'apparaît pas en tchèque [Lehiste 1967]. Straka (1964) ne présente pas de données articulatoires pour les voyelles initiales, mais il note que la position initiale dans une Syllabe est la position la plus "forte" pour une voyelle (p. ex. dans "haïr", "péage", "arbre"). Au contraire, les voyelles finales dans une Syllabe (devant une consonne) ou en fin de Mot occupent une position plus "faible" et peuvent souffrir d'affaiblissement (nous reviendrons sur cette distinction entre position "forte" et "faible" dans la section IV).

Bien souvent, on trouve dans la littérature des informations sur l'articulation de voyelles que l'on qualifie comme "initiales". Or dans ces études, ces voyelles sont en fait les voyelles d'une syllabe initiale CV. Par exemple, Farnetani et Vayra (1996) observent les caractéristiques du contact linguopalatal pour les voyelles /i, a, u/ dans des séquences CVCVCV. Ils remarquent que la voyelle placée dans la syllabe initiale du Mot est plus ouverte que les voyelles placées dans les syllabes suivantes. Comme nous le verrons dans mon étude, je ne considère pas que les voyelles placées dans une Syllabe initiale CV occupent une position initiale (ni dans la Syllabe, ni dans le Mot).

ε. Syllabe-Mot : Articulation nasale

Dans plusieurs langues, il a été observé que la position du velum est plus haute en position initiale dans une Syllabe ou dans un Mot aussi bien pour les consonnes nasales que pour les consonnes orales.

Pour les consonnes orales, il y a dans une séquence CVC en français un maximum de la hauteur du velum pour chaque consonne orale, mais le premier maximum est toujours plus haut que le second [Benguerel 1977]. D'autre part, Simon (1967) montre que les consonnes orales (occlusives, fricatives ou latérales) françaises ont une constriction du velum contre la paroi pharyngale plus étroite et/ou une position du velum plus élevé en position initiale dans un Mot qu'en position intervocalique. En anglais, Vaissière (1988) observe le même phénomène : les consonnes orales en début de Mot ont une position du velum plus haute.

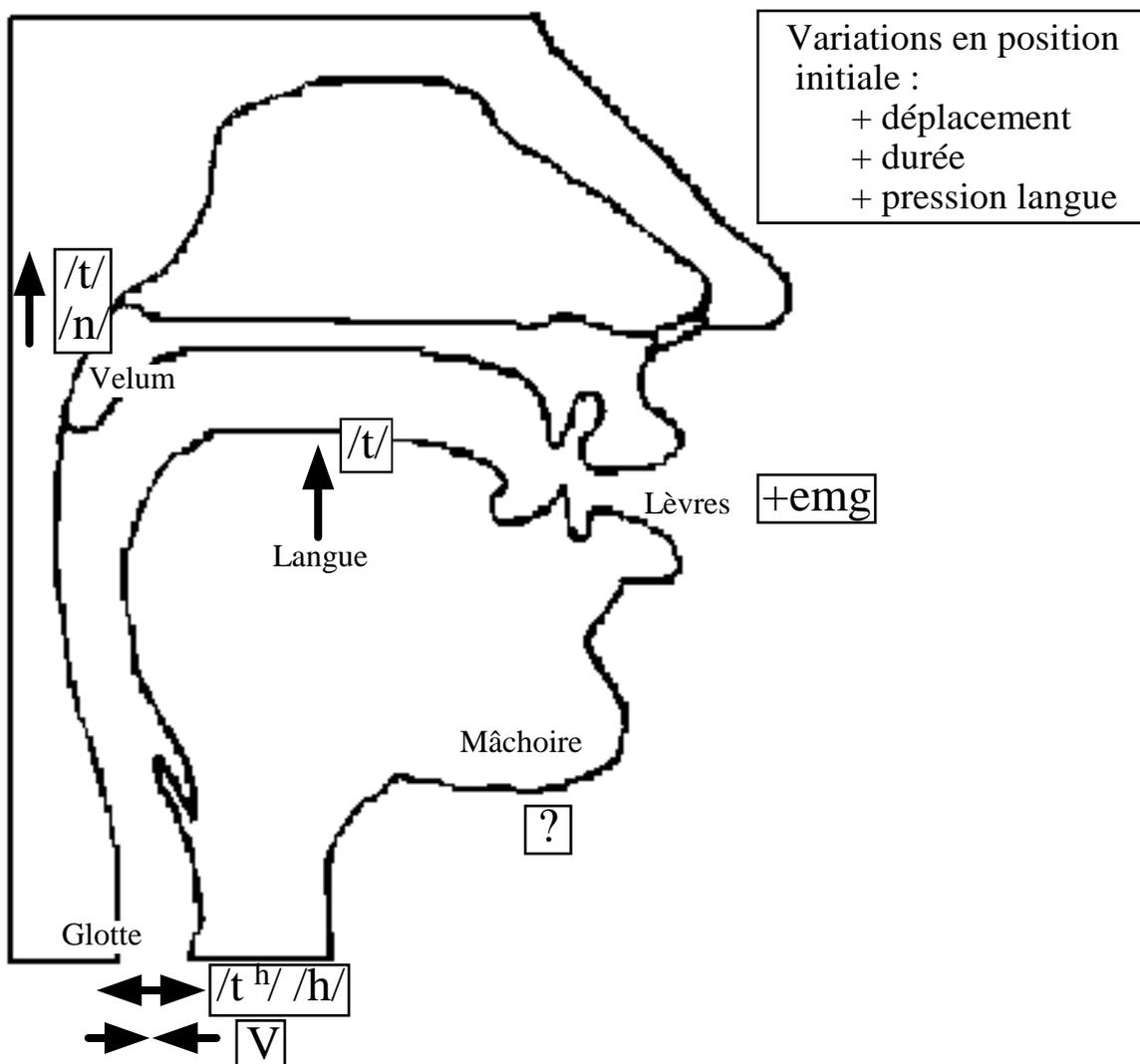
Pour les consonnes nasales, le velum est également plus haut en attaque qu'en coda. Cet effet a été observé en anglais et en japonais [Fujimura 1977, Fujimura & Lovins 1978, Fujimura 1990, Krakow 1989, 1993], mais pas à ma connaissance en français. Krakow (1989) ajoute qu'en anglais le mouvement du velum est moins ample et que le plateau pendant lequel le velum est abaissé est plus court pour un /m/ anglais placé en début de Mot. Lorsqu'elle compare des /m/ en début de Syllabe à des /m/ en début de Mot, Krakow trouve très peu de différence. Elle en conclut que l'effet observé est relié à la position dans la Syllabe. Manuel (1991) interprète les variations de la position du velum, comme une caractéristique de la position initiale visant à diminuer la sonorité de la consonne nasale initiale (l'élévation du velum provoque une diminution du débit d'air nasal et donc de l'énergie acoustique). La consonne moins sonnante sera ainsi plus distincte en terme d'énergie acoustique dans son contexte. Le murmure nasal de la consonne d'attaque en anglais est aussi plus court qu'en position coda [Fujimura & Erickson 1997].

ζ. Conclusion sur les variations dans la Syllabe et le Mot

Les articulations glottales et supraglottales des segments en position initiale dans une Syllabe ou dans un Mot peuvent se distinguer de celles des segments médians ou finaux. La figure 1.6 résume les résultats présentés dans la littérature. En position initiale, les consonnes ont un geste d'ouverture de la glotte plus long et plus ample ; les voyelles sont précédées d'un coup de glotte ou sont glottalisées. Les consonnes et les voyelles initiales ont une activité musculaire labiale plus grande. Au niveau du velum, les consonnes orales et nasales initiales ont une position du velum plus élevée. Au niveau de la langue, les consonnes ont une position de la langue plus élevée et une pression de la langue contre le palais plus importante. Pour les voyelles, les quelques données spectrales

recensées laissent à penser que les voyelles ont une position de la langue plus périphérique à l'initiale de Mot dans certaines langues.

Figure 1.6 : Résumé des variations articulatoires observées en position initiale dans une Syllabe ou un Mot. Les variations sont illustrées par articulateur avec un exemple de segment représentant sa catégorie (ex. /t/ pour occlusive orale, V pour voyelle).



B.2. Variations articulatoires en fonction de la position dans des constituants de niveau supérieur au Mot

Nous avons vu que les variations articulatoires en fonction de la position dans le Mot ou la Syllabe ont été le plus souvent étudiées comme une variation entre position initiale et position finale. Or, ces deux positions se distinguent par une différence de combinatoire entre les segments qui influence aussi leur articulation.

Le statut particulier de la position initiale apparaît plus clairement dans les études qui vont suivre où l'articulation de segments est comparée en position initiale *dans des constituants de différents niveaux*.

Une comparaison entre ces positions permet de voir la différence entre *position initiale et position médiane* puisque les segments placés en début de constituant inférieur sont en position médiane dans un constituant supérieur. Par exemple, la consonne /m/ dans "clémentine" est en position initiale dans la Syllabe /mã/ et est

aussi en position médiane dans le Mot, par contre /k/ est en position initiale dans la Syllabe et aussi dans le Mot. De plus, ce type de comparaison permet de voir si l'articulation d'un segment varie en fonction du niveau prosodique du constituant qu'il débute, et donc *si l'articulation segmentale reflète l'organisation prosodique de la parole en constituants de différents niveaux*.

Rousselot en 1901 notait déjà que la nature des groupes morpho-syntaxiques et de leurs frontières exerce une contrainte sur l'articulation des segments et qu'il faut tenir compte des

"nombreuses variétés auxquelles une même consonne est soumise en raison de sa place dans le mot ou dans la phrase." [Rousselot 1901 : 601, souligné par moi].

Je présenterai dans cette section les quelques études qui se sont intéressées aux caractéristiques articulatoires des segments en position initiale dans des constituants supérieurs au Mot et qui ont comparé des constituants de différents niveaux. En fonction des études et des langues, le nombre et la nature des constituants comparés varient. Ils incluent le Groupe Accentuel, le Syntagme Phonologique, le Groupe Intonatif Intermédiaire et le Groupe Intonatif. L'exposé se fera en fonction de l'articulateur étudié.

α. Constituants supérieurs : Articulation glottale

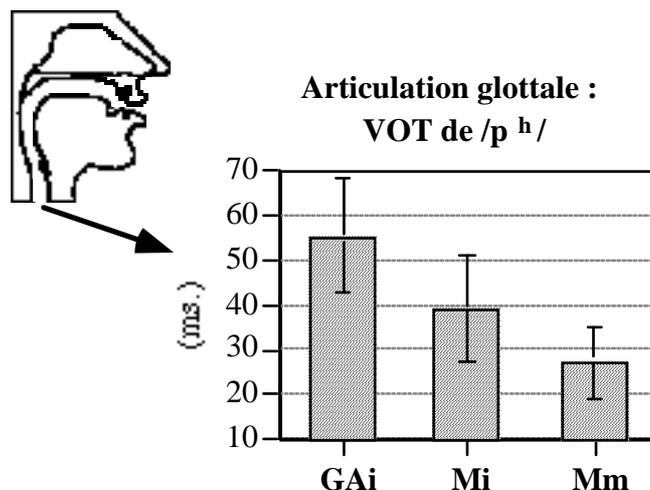
Des modifications de l'articulation glottale des segments ont été observées dans plusieurs langues comme étant des indices de frontières prosodiques. Les observations présentées dans la littérature reposent en général sur les conséquences acoustiques de ces variations articulatoires (amplitude du bruit d'aspiration, durée du VOT, apériodicité...).

Pierrehumbert et Talkin (1992) ont montré que l'articulation glottale de la consonne aspirée /h/ en anglais varie lorsqu'elle est placée au début d'un Groupe Intonatif par rapport au début d'un Mot. Le bruit d'aspiration de la consonne (énergie RMS comparée à l'énergie de la voyelle suivante) est plus faible et plus long en début de Groupe Intonatif. La consonne /h/ est articulée avec une abduction des cordes vocales. Elle a donc une énergie plus faible que la voyelle voisée suivante. En position initiale de Groupe Intonatif, la diminution de l'énergie de /h/ est donc interprétée par les auteurs comme un renforcement de son caractère consonantique. Pierrehumbert et Talkin présentent aussi des données pour /h/ en début et en milieu de Mot mais sans les comparer directement. Sur leurs graphiques (4.6-4.7 vs. 4.8-4.9), on peut voir que les /h/ en début de Mot ont aussi un bruit d'aspiration moins fort que les /h/ en milieu de Mot (dont l'énergie est plus proche de celle de la voyelle). Ceci s'observe principalement pour les /h/ accentués (contrairement à ce que conclut Goldstein (1992) dans son commentaire sur l'article). Le bruit d'aspiration de /h/ apparaît donc diminuer progressivement entre le milieu de Mot (début de Syllabe), le début de Mot et le début de Groupe Intonatif.

La durée du VOT ("Voice Onset Time") des consonnes sourdes varie aussi en fonction du niveau prosodique du constituant dans lequel la consonne est initiale. Alors que Lisker et Abramson (1967) n'observent pas de différence de durée du VOT entre le début d'Énoncé et le milieu d'Énoncé, Pierrehumbert et Talkin (1992) montre que le VOT de la consonne aspirée /t^h/ en anglais est plus long en début de Groupe Intonatif par rapport au milieu de Groupe Intonatif. Jun (1993) observe aussi en coréen une variation du VOT des consonnes aspirées en fonction de leur position prosodique. Ses résultats sont présentés dans la figure 1.7. Le VOT augmente graduellement de la position milieu de Mot (Mm) à la position début de Mot (Mi) puis à la position début de Groupe Accentuel (GAi). Dans leur étude sur le taiwanais, Hsu et Jun (1997) ont des résultats similaires. Le VOT de la consonne aspirée /k^h/ (VOT positif) et celui de la consonne voisée /b/ (VOT négatif) varient en fonction de la position prosodique. Le VOT distingue trois positions et augmente de la position début de Syllabe (Si) à la position début de Mot (Mi) puis à la position début de Groupe Intonatif (Gi). Par contre, le VOT de la consonne sourde non-aspirée /t/ n'est pas affecté par la position prosodique de la consonne en taiwanais.

Les variations dans la durée du VOT en fonction de la position prosodique peuvent résulter d'une modification du mouvement glottal aussi bien au niveau spatial que temporel. Un VOT plus long peut être la conséquence d'un mouvement glottal plus large mais aussi d'une augmentation du délai entre le geste d'ouverture glottal et le geste d'occlusion orale [cf. Cooper 1991, Goldstein 1992].

Figure 1.7 : Durée du VOT pour la consonne aspirée /p^h/ en coréen en position début de Groupe Accentuel (GAi), début de Mot (Mi) et milieu de Mot (Mm). Résumé des résultats de Jun (1993) adapté de sa figure 6.2.



La position prosodique affecte également l'articulation glottale des voyelles. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, les voyelles en début de Mot peuvent être glottalisées en anglais. Cette glottalisation est généralement considérée comme une variation allophonique facultative. Plus récemment, des travaux inspirés par une théorie de la structure prosodique ont montré qu'il y a une relation forte entre structure prosodique et fréquence de glottalisation. Par exemple, Pierrehumbert et Talkin (1992) ont montré qu'une voyelle initiale d'un Mot (accentuée ou non) est plus fréquemment glottalisée lorsqu'elle est aussi en position initiale dans un Groupe Intonatif que lorsqu'elle est à l'intérieur du Groupe Intonatif. Dilley et al. (1996) ont étudié l'effet de la position prosodique sur l'apparition de la glottalisation dans un vaste corpus de parole continue issu d'une base de données radiophonique en anglais. Le corpus inclut la parole de 5 annonceurs et contient 3709 cas de glottalisation de voyelles initiales. L'organisation prosodique des phrases a été transcrite avec le modèle ToBI [cf. Silverman et al. 1992]. Trois types de positions prosodiques se dégagent : le début d'un Groupe Intonatif Majeur (Full Intonational Phrase, marqué par un ton frontière et un indice de jointure 4 (selon la notation ToBI)) ; le début d'un Groupe Intonatif Intermédiaire (Intermediate Intonational Phrase, marqué par un indice de jointure 3 et pas de ton frontière) ; le début d'un Mot (interne à un Groupe Intermédiaire). La présence et la position de l'accent de groupe et de l'accent de mot sont aussi considérées comme facteurs de variation. Une des questions soulevées dans cette étude est de savoir si la fréquence d'apparition d'une glottalisation est plus forte dans des positions importantes sur le plan de l'organisation prosodique (p. ex. en début de Groupe Intonatif ou sur le mot portant l'accent de groupe). Leurs résultats confirment les observations de Pierrehumbert et Talkin (1992), à savoir, les voyelles sont plus fréquemment glottalisées lorsqu'elles sont placées en début de Groupe Intonatif (et quand elles portent l'accent de groupe). Les voyelles placées en début de Groupe Intonatif Intermédiaire sont aussi plus fréquemment glottalisées que celles qui sont seulement en début de Mot. Seules les voyelles non-accentuées placées en début de Groupe Intonatif sont plus fréquemment glottalisées que celles qui sont placées en début de Groupe Intonatif Intermédiaire. Lorsqu'elles portent l'accent lexical, la différence entre ces deux positions est neutralisée. Les auteurs concluent de leur étude que l'apparition de la glottalisation des voyelles initiales est conditionnée par la structure prosodique des énoncés.

La présence de glottalisation pour marquer des frontières prosodiques supérieures au Mot a été observée dans d'autres langues que l'anglais. Par exemple, Huber (1988) distingue en suédois différents types de laryngalisation dont l'apparition dépend de la nature de la frontière : (1) le craquement et la voix craquée qui apparaissent surtout à la fin d'un Groupe Intonatif, particulièrement pour les locuteurs féminins ; (2) la diphonie (alternation d'excitations glottales fortes et faibles) qui est utilisée aussi par les locuteurs féminins soit à la fin d'un Groupe Intonatif, soit à l'intérieur d'un Groupe Intonatif à la fin des Mots ; (3) la glottalisation qui apparaît exclusivement en frontière initiale indépendamment du sexe du locuteur. Cette glottalisation est utilisée pour

marquer le début de constituants internes à la phrase, soit le début de Groupe Intonatif, soit le début de constituants internes comme le Syntagme (clause). Lehiste (1964) remarque aussi en serbo-croate l'apparition de glottalisation d'une voyelle initiale pour délimiter une frontière initiale de Groupe Accentuel (une unité accentuelle formée d'un proclitique et d'un nom).

En résumé, que ce soit d'après les variations de durée du VOT ou du bruit d'aspiration, l'ouverture glottale des consonnes est plus ample en début de constituant prosodique et cette ouverture s'accroît avec la hauteur du constituant. Pour les voyelles initiales, l'apparition de glottalisation augmente aussi en fonction de la hauteur du constituant.

β. Constituants supérieurs : Articulation labiale

Les variations d'articulation labiale dans des constituants supérieurs ont été étudiées par Byrd et Saltzman (1996, 1998) en anglais pour la consonne /m/. La séquence étudiée est une suite /mV#m/ pour laquelle plusieurs types de frontières syntaxiques sont insérées avant la seconde consonne (frontière de mot, frontière entre items dans une liste, frontière après un vocatif, frontière de phrase). Ils observent que les trois locuteurs distinguent au moins 2 ou 3 degrés de frontière par l'articulation de la consonne initiale : la durée et l'amplitude du geste de fermeture des lèvres tendent à augmenter dans les positions supérieures. La durée de la fermeture labiale est aussi plus variable en début de constituants supérieurs. Byrd et al. (1996) ont aussi montré en tamil que le geste de fermeture labial est plus long pour un /m/ placé au début du constituant le plus élevé parmi ceux étudiés ("Large Phrase" vs. "Small Phrase" et "Word"). Par contre, en Tamil, cet allongement n'est pas associé à une modification de l'amplitude du mouvement.

En ce qui concerne les voyelles, van Lieshout et al. (1995) montrent en néerlandais une variation dans l'activité musculaire labiale des voyelles arrondies en fonction de la position prosodique. Ces voyelles ne sont pas en position initiale absolue mais dans la syllabe initiale d'un mot CVC placé soit au début soit à la fin d'un Énoncé. Les auteurs observent que l'activité musculaire des lèvres est plus importante et plus longue en début d'énoncé. L'activité musculaire est plus forte au début de la voyelle mais aussi sur l'ensemble du mot CVC.

γ. Constituants supérieurs : Articulation linguale

Dans une étude antérieure sur l'anglais [Fougeron & Keating 1995, 1997], nous avons observé que l'articulation linguale de /n/ varie en fonction de la position prosodique de la consonne. Le corpus, produit en parole réitérée avec la syllabe /no/, prend pour modèle des expressions algébriques du genre "(x+x+x)*x=y" dans lesquels la position des parenthèses et des opérateurs varient. Les chiffres ("x") imités sont des trisyllabiques dans lesquels la position de l'accent lexical tombe sur une des trois syllabes ("eighty-nine", "seventy" et "one-hundred"). D'après une transcription prosodique des tons et des frontières, cinq constituants prosodiques se sont définis : la Syllabe (S), le Mot (M), le Syntagme Phonologique (SP), le Groupe Intonatif (GI) et l'énoncé (E)¹³. Les consonnes /n/ de la syllabe réitérée /no/ sont codées selon leur position initiale dans ces constituants (Si, Mi, SPi, Gli et Ei). Parallèlement, les voyelles /o/ de la syllabe /no/ sont codées selon leur position finale dans ces constituants (Sf, Mf, SPf, GIf et Ef). Le degré de contact linguopalatal (mesuré par électropalatographie) pour les consonnes /n/ et pour les voyelles /o/ est comparé en fonction de la position prosodique du segment pour trois locuteurs anglo-américains.

Dans une première analyse, nous avons comparé sur le plan syntagmatique l'articulation des segments en fonction de leur position (initiale, médiane et finale) à chaque niveau de constituant. Les résultats, présentés dans la figure 1.8, montrent que les consonnes ont plus de contact linguopalatal en position initiale que dans les positions médianes et finales. L'augmentation du contact en position initiale apparaît à tous les niveaux de constituants observés et pour tous les locuteurs sauf au niveau du Mot pour le locuteur 1. Pour les voyelles (non illustrées), il y a une augmentation de l'ouverture/posteriorité de /o/ en position finale par rapport à la position médiane à tous les niveaux prosodiques.

¹³ Le lecteur est renvoyé à l'article de 1997 pour une explication détaillée du codage prosodique de ces constituants.

Figure 1.8 : Degré de contact linguopalatal pour /n/ en anglais en fonction de sa position : initiale (i), médiane (m) et finale (f) dans l'Énoncé, le Groupe Intonatif, le Syntagme Phonologique et le Mot. Résultats pour 3 locuteurs américains. D'après Fougeron et Keating (1997), figure 3.

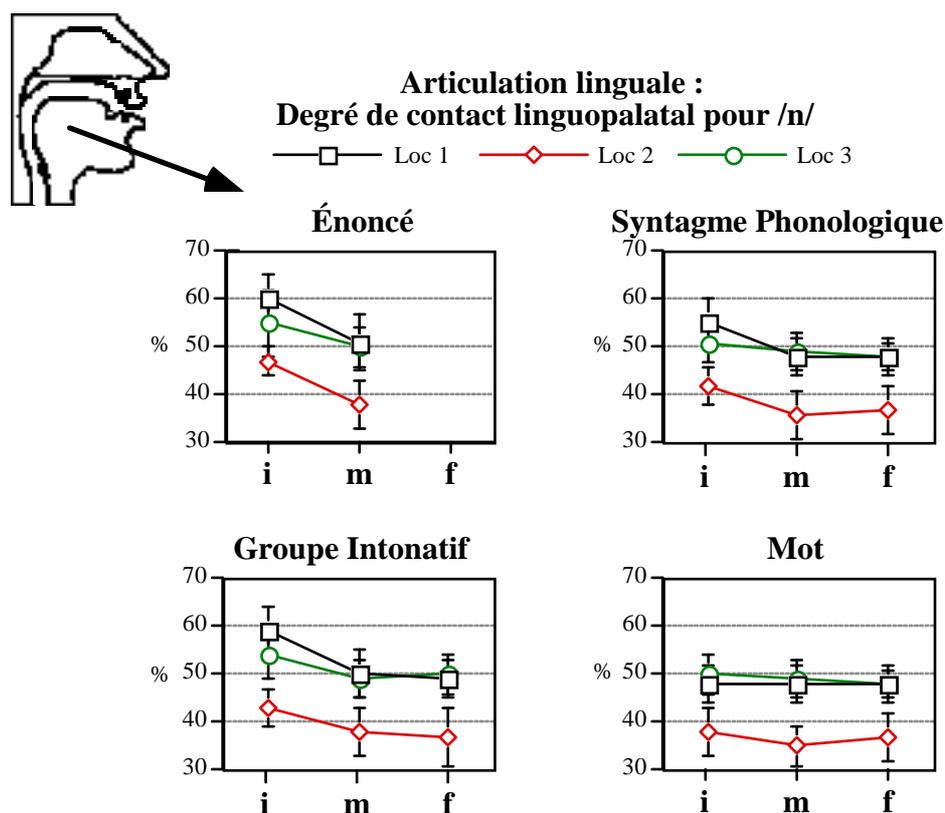
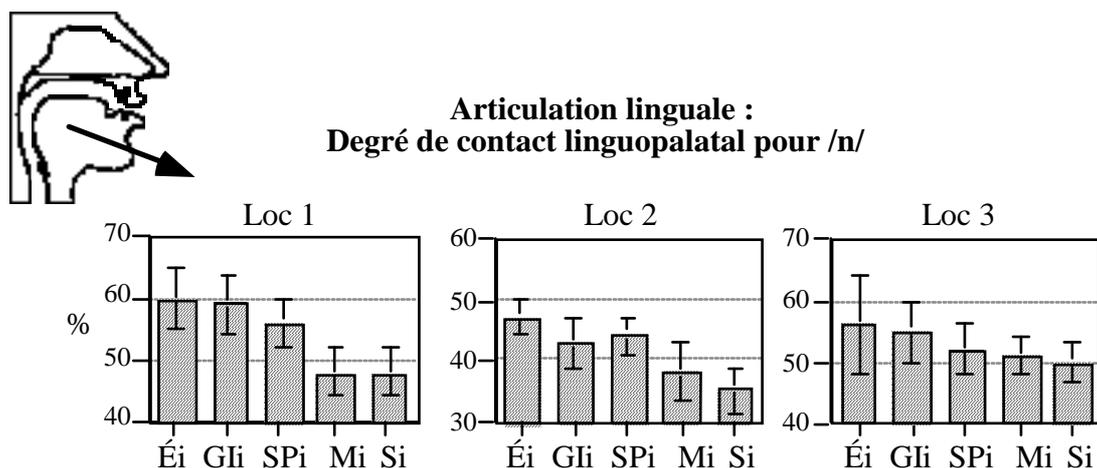


Figure 1.9 : Degré de contact linguopalatal pour /n/ en anglais en position initiale dans des constituants de différents niveaux prosodiques : la Syllabe (Si), le Mot (Mi), le Syntagme Phonologique (SPi), le Groupe Intonatif (Gli) et l'Énoncé (Éi). Résultats pour 3 locuteurs américains. D'après Fougeron et Keating (1997), figure 4.



Dans une seconde analyse, nous avons comparé sur le plan paradigmatique les positions initiales (pour /n/) et finales (pour /o/) entre les cinq niveaux de constituants. Cette analyse a pour objectif d'examiner si l'effet de la position prosodique est hiérarchique et progressif en fonction du niveau du constituant. Ainsi, les consonnes placées en début de Syllabe (Si), en début de Mot (Mi), en début de SP (SPi), en début de GI (Gli) et en début d'Énoncé (Ei) sont comparées. Les voyelles en position finale (CV) sont comparées de la même manière dans tous les constituants. Seules les phrases ayant pour modèle les expressions algébriques avec le chiffre "eighty-

nine" (accent final) ont été incluses dans cette comparaison. Les résultats montrent que plus le constituant prosodique est haut dans la hiérarchie, plus la consonne initiale a de contact linguopalatal. Pourtant, le nombre et la nature des constituants distingués par cette augmentation de contact varient en fonction des locuteurs. Ces résultats sont présentés dans la figure 1.9 pour chaque locuteur. Les positions distinguées par une augmentation de contact (">") sont les suivantes :

Locuteur 1 : $G_{Li} > SP_i > (M_i, S_i)$ (avec $E_i = (G_{Li}, SP_i)$)
 Locuteur 2: $E_i > (G_{Li}, SP_i) > M_i > S_i$
 Locuteur 3 : $(E_i, G_{Li}) > (SP_i, M_i) > S_i$

En résumé, pour les trois locuteurs, 3 ou 4 positions prosodiques sont différenciées par une augmentation de contact linguopalatal. Les trois locuteurs font, au moins, une distinction entre les constituants les plus hauts (E_i - G_{Li}) et les constituants les plus bas (M_i - S_i). Pour les voyelles finales, les variations de contact linguopalatal observées sont contraintes par la technique utilisée : à partir d'un certain degré d'ouverture le contact de la langue sur le palais n'apparaît plus et l'électropalatographie ne permet pas de distinguer des degrés d'ouverture supérieurs. Pour deux des trois locuteurs, l'augmentation de l'ouverture de la voyelle finale distingue trois niveaux de constituants ($G_{Li} > SP_i > (M_i, S_i)$ pour le locuteur 2 et ($G_{Li}, SP_i > M_i > S_i$) pour le locuteur 3).

Ces résultats montrent que le degré de contact linguopalatal n'est pas un indice particulier attaché à une position prosodique spécifique. Les variations de quantité de contacts sont, au contraire, graduelles et variables en fonction des locuteurs, mais la tendance est constante : le contact tend à augmenter pour les consonnes initiales dans des constituants prosodiques les plus hauts. Dans une moindre mesure, les voyelles tendent à s'ouvrir à la fin des constituants prosodiques les plus hauts. En conséquence, les constituants prosodiques se trouvent délimités à gauche et à droite par des consonnes plus fermées et des voyelles plus ouvertes.

En anglais, Keating (1995, 1997) a confirmé dans un corpus de parole non réitérée l'augmentation du contact linguopalatal pour différentes consonnes placées en début d'Énoncé par rapport à celles placées au milieu d'un Énoncé. Une variation de contact linguopalatal a été également montrée à différents niveaux prosodiques en taiwanais pour la consonne /t/ par Hsu & Jun 1997 qui ont comparé le début de Groupe Intonatif (G_{Li}), de Mot (M_i) et de Syllabe (S_i). Un de leurs deux locuteurs distingue les trois positions S_i , M_i et G_{Li} par une augmentation progressive du contact, alors que l'autre locuteur ne distingue que deux positions : les positions G_{Li} et M_i ayant plus de contact que la position S_i . En coréen, Cho (1998) montre aussi une augmentation progressive du contact linguopalatal entre les positions début de Syllabe, début de Mot, début de Groupe Accentuel, début de Groupe Intonatif et début d'Énoncé. Cette distinction est effectuée par trois locuteurs pour les consonnes non aspirées /t/ et /n/ à l'exception de la distinction entre M_i et G_{Li} pour un locuteur. En tamoul, Byrd et al. (1996) observent un allongement du geste d'occlusion linguale (geste de fermeture) pour un /n/ placé au début d'un groupe prosodique supérieur ("Large Phrase" vs. "Small Phrase"- "Word"). Cet allongement est accompagné d'une diminution de la raideur et d'une faible augmentation de la magnitude du geste de fermeture linguale.

La position dans un constituant supérieur affecte aussi l'articulation des consonnes coda. En anglais, les consonnes coda placées en fin d'Énoncé ont un degré de contact plus important que celles placées en milieu d'Énoncé. En conséquence la différence entre attaque et coda est diminuée en fin d'Énoncé [Keating 1995, 1997].

δ. Constituants supérieurs : Articulation nasale

Nous avons vu que les consonnes nasales et orales en position initiale dans une Syllabe ou dans un Mot ont une position du velum plus élevée que les consonnes médianes ou finales. Il n'y a, dans la littérature, que quelques informations sur le comportement du velum dans des constituants de niveaux supérieurs. Par exemple, Krakow et al. (1991, 1994) montrent à l'aide du velotracer que la position du velum est aussi plus haute pour une consonne orale lorsque celle-ci est placée en début d'Énoncé.

Gordon (1996) a comparé l'articulation nasale de /n/ en estonien dans des constituants de différents niveaux. Les variations observées sont déduites indirectement à partir de la valeur du débit nasal pendant la consonne. Quatre positions sont étudiées : le début d'Énoncé (E_i), le début de Groupe Intonatif (après pause) (G_{Li}), le début de Mot (M_i) et le début de Syllabe (S_i). Trois ou quatre locuteurs sont examinés. Gordon trouve une diminution progressive du débit nasal de la position S_i à M_i à G_{Li} . La position E_i , par contre, ne suit cette tendance que pour

un locuteur alors que pour les deux autres locuteurs, le débit nasal en début d'Énoncé est plus fort qu'en début de Groupe Intonatif. Mis à part le début d'Énoncé, Gordon montre donc que la diminution du débit nasal en début de constituant suit la hiérarchie des constituants. Si l'on interprète la diminution du débit nasal comme une diminution de l'ouverture vélopharyngée par une élévation du velum, ces résultats laissent à penser que le velum est plus élevé au début de constituant supérieur.

ε. Conclusion sur les variations dans des constituants supérieurs

En conclusion, les observations présentées ci-dessus montrent que l'articulation des segments est aussi influencée par leur position dans des constituants prosodiques supérieurs au Mot ou à la Syllabe. La position initiale dans ces constituants est généralement marquée articulatoirement par rapport aux positions non-initiales au niveau du constituant examiné. De plus, lorsqu'une comparaison est faite entre les différents niveaux de constituants, les variations articulatoires en position initiale (fréquence de glottalisation, ouverture de la glotte, constriction linguale ou labiale ou élévation du velum) tendent à augmenter en suivant la hiérarchie des constituants. Pourtant, tous les constituants prosodiques ne sont pas marqués uniformément et ce marquage peut varier en fonction des locuteurs.

B.3. Variations dans la coordination temporelle entre les gestes articulatoires en fonction de la position prosodique

Nous avons vu que la position prosodique affecte les caractéristiques spatiales des gestes articulatoires. Nous verrons ici qu'elle affecte aussi la coordination temporelle entre ces gestes articulatoires.

B3.a. Coordination temporelle dans la Syllabe ou le Mot

La syllabe est souvent considérée comme l'unité linguistique de base dans laquelle la coordination temporelle entre les gestes articulatoires est spécifiée [Kozhevnikov & Chistovich 1965, Browman & Goldstein 1995] :

"syllable structure is a characteristic pattern of coordination among gestures, certain types of variation are automatic consequences of this pattern of coordination, and therefore, necessary correlates of syllable structure." [Browman & Goldstein 1995 : 20]

En fonction de la position dans la Syllabe ou dans le Mot, plusieurs études ont montré que la coordination des gestes articulatoires pour un même segment (3.a) ou pour différents segments (3.b) est modifiée.

α. Coordination entre différents articulateurs pour un même segment

Krakow (1989) montre que la coordination entre les gestes des lèvres et du velum pour une consonne nasale labiale anglaise est affectée par la position de la consonne. C'est d'ailleurs d'après cette différence de coordination que la distinction entre consonne initiale (attaque) et consonne finale (coda) est la plus flagrante dans son corpus. En début de Mot, le geste oral et le geste nasal sont alignés dans le temps : les fins des mouvements d'abaissement du velum et d'élévation de la lèvre inférieure apparaissent au même moment. Par contre en fin de Mot, la fin du mouvement d'abaissement du velum est alignée avec le début de l'élévation de la lèvre inférieure. Ainsi en fin de Mot, le geste du velum, plus ample, est aussi plus précoce par rapport au geste oral. Farnetani (1986) observe en italien un résultat similaire mais en comparant non plus consonnes initiales et finales mais consonnes initiales et médianes dans un Mot (toutes deux en attaque). En milieu de mot, l'augmentation du débit nasal pour /n/ précède son occlusion orale (il apparaît pendant V1). Par contre en début de mot (après pause), le débit nasal commence à augmenter après que l'occlusion linguale soit achevée. Le début des vibrations laryngées commence au même moment.

Une autre variation connue de la coordination entre gestes est celle qui affecte la consonne /l/ en anglais. En position finale post-vocalique et pré-consonantique, /l/ apparaît comme un allophone "sombre" (moins antérieur), alors qu'en position initiale et post-consonantique, /l/ apparaît comme un allophone "clair". La différence entre ces deux allophones vient d'une différence de coordination entre le geste de la pointe de la langue et le geste du corps de la langue. En position initiale, la rétraction du corps de la langue et l'élévation de la pointe de la langue

se suivent de près. Par contre, en fin de Mot la rétraction du corps de la langue précède l'occlusion de la pointe de la langue [Sproat & Fujimura 1993]. Browman et Goldstein (1992) ajoutent que le délai entre ces deux gestes est fonction de la frontière prosodique : l'intervalle est plus long pour les /l/ en fin de Mot (et aussi de Groupe Intonatif) que pour les /l/ en position coda. Recasens et Farnetani (1990) confirment que la vélarisation de /l/ en position finale n'est pas catégorique, c'est un phénomène graduel qui dépend des langues (plus en catalan et anglais américain qu'en italien) et de la position du segment.

β. Coordination entre gestes pour différents segments

La position dans le Mot ou la Syllabe affecte aussi la coordination entre les gestes associés à différents segments.

Browman et Goldstein (1995) définissent l'organisation syllabique par l'alignement des gestes consonantiques et vocaliques les uns avec les autres. Les consonnes initiales sont coordonnées avec le début du geste vocalique et les consonnes finales sont coordonnées avec la fin du geste vocalique. Ceci reprend l'idée de Kozhevnikov et Chistovich (1965) pour lesquels la syllabe articuloire est la syllabe CV. La coarticulation au sein de la syllabe donne donc à celle-ci son unité. Par exemple, Lehiste (1964) montre que la nasalisation progressive dans une suite NV est plus forte si la voyelle est tautosyllabique avec la nasale (ex. dans une suite /V.NV/ par rapport à /VN.V/).

D'autres études insistent sur le fait que la coordination entre gestes vocaliques et consonantiques peut aussi définir la rime (VC) comme un domaine de coordination temporel stable [p. ex. Lehiste 1970 (anglais) ou Slis 1971 (néerlandais)]. Cette idée est partagée par Fujimura et Erickson (1997) qui expliquent que les consonnes sonnantes en position coda ont des gestes articuloires plus intimement liés avec la voyelle tautosyllabique que ceux de la consonnes d'attaque. En position initiale (ex. "lap", "lip"), ils montrent une discontinuité spectrographique séparant le /l/ de la voyelle, la transition formantique étant plus rapide. En position finale, par contre il n'y a pas cette discontinuité et les formants de la partie stable de la voyelle sont fortement affectés par les caractéristiques de /l/. Les phénomènes de compensation temporelle au sein de la rime montrent aussi la coordination entre les gestes du nucleus et de la coda. Par exemple, Lehiste (1970) présente plusieurs cas de compensation temporelle entre segments. Elle cherche à établir quel est le domaine de la compensation temporelle, en supposant que celui-ci est une "unité d'articulation", i.e. le domaine du programme articuloire. Elle montre qu'en anglais ce domaine correspond à la syllabe VC : la durée d'une voyelle et celle de la consonne suivante dans un monosyllabique sont négativement corrélées, si la voyelle s'allonge, la consonne se raccourcit. En islandais, en norvégien et en suédois, il y a aussi une corrélation négative entre la durée de la voyelle et celle de la consonne dans une syllabe VC.

Ces résultats montrent que le chevauchement des gestes articuloires met en valeur la cohésion temporelle entre les gestes des segments au sein de la syllabe. Toutefois, ces résultats ne permettent pas de dire s'il y a plus de cohésion entre consonne initiale et voyelle suivante ou entre consonne coda et voyelle précédente. Si cela est le cas, la distinction entre ces deux types de cohésion (C-V et V-C) ne reflète pas uniquement une différence entre les positions (initiale-finale) mais surtout une différence dans la direction de la coarticulation : anticipatrice-persévératrice [voir Fougeron 1993 pour une discussion des mécanismes impliqués dans ces deux types de coarticulation].

Les résultats de Byrd (1994, 1996), nous renseignent d'avantage sur la spécificité de l'organisation temporelle en début de Syllabe ou de Mot. Elle montre en anglais que le chevauchement entre les gestes consonantiques d'une séquence CC est moins important lorsque les deux consonnes forment l'attaque d'une syllabe (CCV) par rapport à un groupe de consonnes coda (VCC) ou hétérosyllabiques (C.C). De plus, la coordination entre ces gestes est beaucoup moins variable pour un groupe de consonnes à l'attaque d'une syllabe. Elle en conclut que le patron temporel pour ces consonnes est plus précis et plus stable dans cette position. Gendron (1966) suggère aussi que la coarticulation entre C et V est moins importante en position initiale dans un Mot. Il explique ainsi la faible fréquence de désonorisation des voyelles québécoises précédées d'une consonne sourde lorsqu'elles sont placées dans la syllabe initiale d'un Mot (1/5 des réalisations) par rapport à une syllabe interne de Mot (1/2 des réalisations).

B3.b. Coordination temporelle dans des constituants supérieurs

De nombreuses études ont montré que le chevauchement articulaire entre les segments est fortement affecté par le poids de la frontière prosodique les séparant. Comme je m'intéresse plus particulièrement aux segments initiaux, je présenterai ici des études montrant que l'anticipation des gestes articulaires pour un segment initial dépend du niveau de la frontière le précédant.

Dans une étude cinéfluographique, MacClean (1973) montre que le poids de la frontière syntaxique séparant les deux voyelles d'une séquence CVVN en anglais influence l'alignement temporel du mouvement du velum. Aux frontières majeures (marquée prosodiquement, entre des phrases ou des clauses), le début d'abaissement du velum pour /n/ est retardé par rapport à la voyelle précédente : il coïncide avec le début de la seconde voyelle (CV₁V₂N). Il y a donc moins d'anticipation nasale. Dans le cas des frontières mineures (non marquées prosodiquement entre mots, phrases, clauses), l'abaissement du velum commence dès le début du mouvement articulaire pour la première voyelle. L'anticipation du mouvement nasal s'étend donc sur les deux voyelles précédentes. Ceci est indépendant de la durée de la séquence CV. Les données de Vaissière (1988) montrent aussi une diminution de l'anticipation nasale pour des /n/ séparés d'une consonne orale par une pause (C#N). Dans cette position (post-pausale, début de Groupe Intonatif) l'abaissement du velum pour la nasale initiale ne commence pas avant le début de son occlusion orale. En comparaison avec les autres positions, il n'y a donc pas d'anticipation de l'abaissement du velum sur la consonne orale précédente.

L'effet du niveau de frontière a été également observé sur la coordination temporelle des mouvements linguaux. Hardcastle (1985) examine l'organisation temporelle des mouvements linguaux pour une séquence de consonnes /k/ en fonction du poids de la frontière syntaxique tombant entre les deux consonnes. Bien qu'il y ait une assez forte variabilité entre les 4 locuteurs, il conclut que la condition la moins favorable au chevauchement entre les gestes de /k/ et /l/ est lorsque les consonnes sont séparées par une frontière syntaxique majeure (et lorsqu'elles sont produites à débit lent). Holst et Nolan (1995) montrent aussi que l'assimilation de lieu d'articulation entre les fricatives /s/ et /ʃ/ est réduite lorsque ces consonnes sont séparées par une frontière syntaxique majeure ("major clause boundary") comparée à une frontière de Mot.

La diminution du chevauchement entre gestes au travers d'une frontière majeure n'est pas uniquement la conséquence de la présence d'une pause. Holst et Nolan (1995) observe cette absence d'assimilation totale entre /s/ et /ʃ/ même dans les cas où la frontière majeure n'est pas marquée par une pause (l'assimilation est alors partielle). Byrd et al. (1996) montrent également une diminution du chevauchement entre gestes labial et lingual pour une séquence /n+m/ ou /m+n/ lorsque les consonnes sont séparées par une frontière majeure par rapport à une frontière inférieure alors qu'aucune de ces frontières n'est marquée par une pause. En contrepartie, la présence d'une pause ne bloque pas le chevauchement entre segments. Par exemple, Lewis et al. (1975) montrent que la fricative dentale /θ/ provoque une antériorisation de l'articulation de /n/ même lorsque les consonnes sont séparées par une pause.

B3.c. Conclusion sur les variations de coordination temporelle

Il ressort de ces études qu'il y a une plus grande synchronicité entre les gestes nécessaires à l'articulation d'un segment (le velum et les lèvres pour /m/ ou le corps et la pointe de la langue pour /l/) lorsque celui-ci est placé en position initiale dans un Mot ou dans une Syllabe [Browman & Goldstein 1992, 1995]. D'autre part, la coordination temporelle entre les gestes d'un groupe de segments (CC ou CV) placé au début d'un Mot semble être gouvernée par un patron temporel stable et plus contraint que dans les autres positions. La coordination temporelle des gestes articulaires varie aussi dans des constituants de niveaux supérieurs. Le degré de chevauchement entre les gestes est négativement corrélé au degré de frontière les séparant [Browman 1995]. L'anticipation des gestes de la consonne initiale est réduite lorsque celle-ci est précédée d'une frontière importante (i.e. lorsqu'elle est un début d'un constituant supérieur) que cette frontière soit marquée ou non par une pause. La plus grande synchronicité des gestes pour un segment initial, observée au niveau du Mot, semble donc aussi affecter les segments initiaux dans des constituants supérieurs puisque leurs gestes sont moins anticipés.

B.4. Variations de durée acoustique en fonction de la position dans des constituants prosodiques de différents niveaux

Nous avons vu que la position d'un segment dans un constituant prosodique influence son articulation. Les variations articulatoires concernent la magnitude et la durée des mouvements articulatoires ainsi que leur coordination temporelle. En conséquence, la durée acoustique des segments va aussi varier en fonction de leur position prosodique. Je présenterai brièvement le phénomène d'allongement le plus connu en fonction de la position prosodique : l'allongement final (B.4.1). Puis je présenterai quelques travaux montrant qu'il y a aussi un allongement des segments en position initiale et que cet allongement peut dépendre du niveau prosodique du constituant (B.4.2).

B4.a. Allongement en position finale dans un constituant

L'allongement des unités finales dans une séquence semble être une tendance naturelle de toute activité motrice (de haut niveau) [p. ex. Vaissière 1983]. Il est présent en musique [Cooper 1976] et en langue des signes [Willbur & Zelaznik 1997].

Au niveau du Mot, l'allongement de la voyelle et de la consonne en position finale a été observé à maintes reprises et dans plusieurs langues [p. ex. Delattre 1966 en français, espagnol, allemand et anglais ; Lindblom 1968, Lindblom & Rapp 1973 en suédois ; Lehiste 1972, Oller 1973, Klatt 1975, Crystal & House 1990 en anglais].

Au niveau des constituants supérieurs, l'allongement final de la dernière syllabe du constituant tend à augmenter graduellement en fonction de la hauteur de ce constituant dans la hiérarchie, c'est à dire en fonction du degré de la frontière suivante [parmi d'autres : Delattre 1966, Grosjean et Deschamps 1972, Crompton 1980, Rietveld 1980, Duez 1987, Padeloup 1990, Fletcher 1991 en français ; Klatt 1975, Cooper & Paccia Cooper 1980, Wightman et al. 1992 en anglais]. Selon les études, plusieurs niveaux de frontières sont spécifiés par un allongement final. Dans une étude récente, Wightman et al. (1992) montrent qu'en anglais 4 niveaux prosodiques peuvent être distingués par l'allongement de la voyelle finale (le mot et 3 constituants supérieurs). Pour Ladd et Campbell (1991), l'allongement final distingue au moins quatre niveaux de constituants au dessus du mot. En français, il est généralement admis de distinguer trois niveaux prosodiques à partir de l'allongement final : le mot, le groupe accentuel (mot prosodique ou groupe rythmique) et le groupe intonatif [p.ex. Padeloup 1990].

B4.b. Allongement en position initiale dans un constituant

Parallèlement à l'allongement final, la durée des segments initiaux est aussi affectée par la position prosodique.

Au niveau du Mot et de la Syllabe, nous avons vu que les gestes articulatoires des consonnes initiales sont plus amples et aussi plus longs que dans les positions non-initiales. Sur le plan acoustique, la durée des consonnes initiales est ainsi plus longue. Cet allongement en début de Mot a été observé dans plusieurs langues [entre autres, Vaissière 1977, 1989 en français ; Kohler & Hardcastle 1974, Kohler 1976 en allemand ; Nooteboom 1972, Quené 1992 en néerlandais ; Carlson & Grandström 1973, Lindblom & Rapp 1973 en suédois ; Nespor 1977 en italien ; Lehiste 1960, Oller 1973, Umeda 1977, Nakatani & Schaffer 1978 en anglais ; Lehiste 1964 en tchèque]. Par exemple, Oller (1973) a étudié en anglais les variations de durée des consonnes et des voyelles en fonction de leur position dans la phrase et de leur position sous l'accent. Il observe qu'en plus de l'allongement final, il y a un allongement des consonnes initiales dans un Mot, que la syllabe soit accentuée ou non. Pour les consonnes non accentuées l'allongement initial est supérieur (30 ms) à l'allongement en fin de mot (20 ms). Pour les consonnes accentuées, il y a seulement un allongement initial et pas d'allongement final. Pour les voyelles (CV ou CVC) seule la position sous l'accent et la position finale ont un effet sur la durée de la voyelle. Vaissière (1977, 1989) montre que la consonne initiale d'un mot prosodique est allongée en français. Comparée à la syllabe finale qui est longue ou extra-longue (en final de groupe), aux syllabes médianes qui sont courtes, la syllabe initiale a une durée moyenne (allongée uniquement par la consonne). Quené (1992) montre qu'en néerlandais l'allongement de la consonne initiale est un indice acoustique permettant l'identification d'une frontière lexicale (#) dans des suites VC#V (C courte) et V#CV (C longue).

Dans notre étude sur l'anglais [Fougeron & Keating 1997, présentée dans section B2.c], nous avons observé que l'allongement d'une consonne initiale peut aussi être fonction du niveau du constituant et donc de la frontière prosodique la précédant (à l'image de l'allongement final). Deux des trois locuteurs distinguent 4 niveaux prosodiques par un allongement de la consonne initiale /n/. L'allongement est progressif de la position début de Syllabe (Si) à la position début de Mot (Mi) à la position début de Syntagme Phonologique (SPi) à la position début de Groupe Intonatif (Gli). Le troisième locuteur ne distingue que 3 niveaux prosodiques par un allongement progressif de la position Si à Mi à SPi-Gli. La durée de la consonne en début d'Énoncé est la plus variable. En taiwanais, Hsu et Jun (1997) observent aussi un allongement progressif de la durée acoustique de l'occlusion de /t/ de la position Si à Mi à Gli pour les deux locuteurs.

B4.c. Conclusion sur les variations de durée acoustique

L'allongement final est un indice de démarcation prosodique entre constituants qui varie suivant le poids de la frontière prosodique suivante. Il existe aussi un allongement du segment en position initiale dans un constituant. Cet allongement a été décrit principalement au niveau du Mot et pour les consonnes, mais quelques résultats laissent à penser que l'allongement initial peut aussi être un indice de frontière prosodique en étant fonction du poids de la frontière.

B.5. Variation en fonction de la position linéaire dans la phrase : une déclinaison articuloire ?

Indépendamment de la position prosodique, certains auteurs ont suggéré que l'articulation des segments est fonction de leur position "linéaire" dans la phrase. Les segments auraient une articulation plus extrême en début de phrase qui déclinaient progressivement jusqu'à la fin de la phrase. Cette tendance se rapproche du phénomène de déclinaison observé pour la fréquence fondamentale ou la pression sous-glottale [voir p. ex. Ladd 1984 ou t'Hart et al. 1990 pour une revue]. Elle a été décrite sous les termes de "déclinaison articuloire" ou "déclinaison supraglottale" [Vayra & Fowler 1992, Krakow et al. 1994].

Vaissière (1986b) remarque sur ses données du mouvement du velum en anglais, que le velum est généralement très élevé en début de phrase. Elle explique ce phénomène par une augmentation de tension qui affecterait tous les articulateurs en début de phrase. En contrepartie, dans les positions subséquentes, les articulations subirait l'effet d'une relaxation globale ou d'une diminution de l'énergie jusqu'à la fin de la phrase. Vatikiotis-Bateson et Fowler (1988) en anglais et Vayra et Fowler (1992) en italien présentent des données articuloires qui vont dans le sens d'une déclinaison des mouvements articuloires dans des séquences de 2 ou 3 syllabes. Krakow et al. (1994) testent cette hypothèse de déclinaison sur un corpus de parole réitérée incluant des phrases plus longues et de construction syntaxique plus riche. La position du velum pour la consonne /t/ est observée à l'aide du velotrace dans plusieurs positions au long de la phrase. Les auteurs trouvent que la position du velum est toujours plus haute en début de phrase qu'en fin de phrase. Pour les syllabes accentuées lexicalement, il y a une diminution progressive de la hauteur du velum entre les positions successives dans la phrase. Pour les voyelles non-accentuées lexicalement cette déclinaison est faible ou inexistante. Les auteurs concluent alors qu'il y a une déclinaison articuloire du début à la fin d'une phrase et que celle-ci affecte principalement les syllabes accentuées.

Or, un examen détaillé des données présentées par Krakow et al. (1994) montre en fait que si la tendance de déclinaison est présente du début à la fin de la phrase, il y a tout au long de la phrase des variations locales sur les syllabes médianes. Dans une étude antérieure [Fougeron & Keating 1996], nous avons essayé de reproduire les données de Krakow et al. avec des données EPG et avons tenté de déduire l'organisation prosodique des phrases utilisées par ces auteurs. Nos résultats nous laissent penser que les observations faites par Krakow et al. sont aussi la conséquence de l'influence de la position prosodique des segments dans leurs phrases. En effet, dans leur corpus, les segments qui sont placés dans une position avancée dans la phrase sont, aussi, au début d'un constituant prosodique supérieur. Les segments qui apparaissent plus tard dans la phrase sont, aussi, au début (ou au milieu) d'un constituant inférieur. Ainsi les variations de la hauteur du velum peuvent être la conséquence

de la position linéaire du segment dans la phrase et aussi celle de la position du segment dans des constituants prosodiques de niveaux différents.

Ces résultats ne réfutent pas complètement l'existence d'une déclinaison articulatoire. D'un autre côté, l'existence d'une déclinaison articulatoire ne remet pas en cause les variations présentées en fonction de la position prosodique. Il est possible qu'il y ait une déclinaison articulatoire au sein de certains constituants prosodiques avec un "resetting" articulatoire en début de constituant (comme pour la f0). Les constituants formant le domaine de cette déclinaison seraient alors à définir. Dans mon étude je ne répondrai pas à cette question. Je ne m'occuperai que de l'influence de la position prosodique en considérant que la position linéaire dans la phrase est un facteur à contrôler. Les positions prosodiques que j'étudierai seront comparées sur un axe paradigmatique dans des phrases où le segment étudié sera (presque) toujours à la même position linéaire dans la phrase.

II.C. Conclusion sur les variations articulatoires en fonction de la position prosodique

Des résultats présentés dans cette partie, on peut conclure que l'articulation des segments est affectée par la structure prosodique. La position d'un segment dans un constituant, tout comme la position sous l'accent, influence son articulation.

Si, dans la littérature, les travaux insistent sur les variations marquant les segments en position finale, nous avons vu que les segments en position initiale sont aussi marqués sur le plan articulatoire. Les quelques études présentant une comparaison entre différents niveaux prosodiques indiquent que *cet effet apparaît, non seulement au niveau de la Syllabe et du Mot, mais aussi dans des constituants supérieurs*. Ainsi, les segments initiaux dans un constituant se distinguent des segments non-initiaux, mais aussi des segments initiaux dans des constituants inférieurs.

Les variations articulatoires en position initiale vont toutes dans la même direction : *quel qu'il soit, le geste articulatoire présent en début de Syllabe ou de Mot tend à augmenter en début de constituants prosodiques supérieurs en suivant la hiérarchie*. Ce geste peut être un trait constitutif du segment (p. ex. l'élévation de la langue pour les occlusives) ou un trait articulatoire "inattendu" pour le segment en question (p. ex. élévation du velum pour les nasales ou glottalisation pour les voyelles). La position prosodique affecte également la coordination temporelle entre gestes articulatoires ainsi que la durée acoustique des segments.

Les variations articulatoires conditionnées par la position prosodique que nous avons vu jusqu'ici sont des variations subtiles. Ce sont des "détails" phonétiques qui ne modifient pas la nature du segment. Par exemple, une occlusive reste une occlusive dans toutes les positions même si son degré d'occlusion augmente. Toutefois, comme nous le verrons dans la partie suivante, certaines de ces caractéristiques positionnelles ont pu être phonologisées. L'intégration de ces variations articulatoires dans le système de la langue contribue à donner à la position initiale un statut linguistique particulier.

III. LA POSITION INITIALE DANS UN CONSTITUANT : UN STATUT LINGUISTIQUE PARTICULIER ?

Les variations articulatoires vues précédemment laissent à penser que la position initiale dans un constituant a un statut particulier sur le plan de la production. Ce statut particulier apparaît également si l'on considère le *comportement linguistique* des segments dans cette position. Les segments initiaux sont particulièrement résistants aux variations diachroniques (section III-A) et synchroniques (section III-B) dans les langues. De plus, les segments initiaux ont un rôle particulièrement important lors du traitement perceptif de la parole (section III-

C). Nous verrons que ces propriétés peuvent être interprétées comme une phonologisation des caractéristiques articulatoires (phonétiques) spécifiques à cette position.

III.A. La position initiale dans un Mot : une position "forte"

La position initiale dans un Mot et la position sous l'accent sont souvent décrites comme des positions *fortes*. Selon les termes de Vaissière (1986a, 1988), ces positions peuvent être spécifiées par un trait prosodique [+strong] qui explique les variations articulatoires dans ces positions (élévation du velum, constriction glottale). En français, la syllabe initiale d'un mot peut porter l'accent initial. Bien que celui-ci n'est pas toujours réalisé (voir section II.A), la position initiale en français peut être considérée comme d'autant plus forte puisqu'elle est initiale ET qu'elle est accentuable¹⁴. A l'opposé, les positions finales et les positions non-accentuées dans un Mot sont généralement considérées comme des positions *faibles*.

Lorsqu'on examine les variations diachroniques et synchroniques que peuvent subir les segments en fonction de leur position, il apparaît que la distinction entre positions n'est pas seulement binaire (forte vs. faible) mais aussi scalaire : *il y a des positions plus fortes que d'autres*. Par exemple, Straka (1964) propose une échelle de force entre positions qui va gouverner l'évolution diachronique des segments. De la position la plus forte à la position la plus faible, on a pour les consonnes et les voyelles les échelles suivantes :

Consonnes	Voyelles
1. initiale de Mot [#C]	1. initiale de syllabe avant C [.VC]
2. initiale de Syllabe après C [C.C]	milieu de syllabe entre C [.CVC.]
3. finale de mot [C#]	2. centrale de syllabe (sans C) [.V.]
4. initiale de syllabe après V [V.CV]	3. finale de syllabe après C [CV.] [CV#]
5. finale de syllabe avant C [C.C]	

(Note : les positions 3 et 4 pour les consonnes peuvent être inversées)

III.B. La position initiale dans l'évolution diachronique. Indices de linguistique historique

B.1. Exemple de l'évolution diachronique du latin au français

Le degré de résistance des segments aux changements diachroniques du latin au français, dépend essentiellement de leur position dans la Syllabe ou dans le Mot. Les segments en position forte se sont maintenus alors que les segments en position faible se sont réduits ou ont disparu [Brunot & Bruneau 1937, Martinet 1955, Bourciez & Bourciez 1967, Zink 1986].

La hiérarchie de force entre les positions apparaît clairement dans l'exemple de l'évolution du mot latin "factum" au mot français "fait" donné par Haden (1938). Dans le mot 'factum' il y a d'abord une différence de force entre la syllabe accentuée ("fac") et la syllabe non accentuée ("tum") qui est plus faible. Il y a aussi une différence entre les consonnes initiales (/f/ et /t/) qui sont en position forte et les consonnes finales (/k/ et /m/) qui sont en position faible dans la syllabe. La consonne finale de la syllabe inaccentuée est à la position la plus faible, c'est donc elle qui tombe la première : ['faktum] devient ['faktu]. La consonne finale de la syllabe accentuée se retrouve alors dans la position la plus faible. Elle est modifiée puis absorbée dans la voyelle : ['faktu] devient [fakt̪] puis [fajt] puis [fɛt]. Alors, le /t/ devient final et, puisqu'il est en position faible, il tombe pour former le mot français [fɛ]. La consonne initiale de syllabe accentuée (qui est aussi initiale de mot) reste inchangée.

Pour les consonnes, la position la plus forte est le début de Mot. La tendance globale d'évolution des consonnes peut se résumer ainsi (d'après Bourciez & Bourciez 1967) :

¹⁴ Dans mon étude je contrôlerai que les syllabes initiales ne soient pas aussi accentuées afin de ne pas confondre ces deux phénomènes (accent et position). Je reviendrai sur ce statut particulier de la position initiale en français dans la partie Discussion.

- soit elles restent intactes. C'est le cas des consonnes initiales (sauf les gutturales /k,g/ qui se modifient devant les voyelles d'avant) et des consonnes intérieures placées derrière une autre consonne.
- soit elle se modifient. C'est le cas des consonnes intérieures qui subissent des modifications diverses qui dépendent de la famille de consonnes (affaiblissement ou effacement). Les consonnes intérieures placées devant une autre consonne ne persistent que si les groupes sont faciles à prononcer, autrement elle subissent un affaiblissement ou une assimilation.

Pour les consonnes en position finale, il faut distinguer plusieurs cas :

- devant un point ou une pause, la consonne est en position forte est elle alors maintenue (ex. "j'en ai six." /sis/). La disparition des consonnes finales à la pause ne s'est fait que plus tardivement en moyen français. C'est un des seuls cas où il est fait mention de la position du segment dans un constituant supérieur au Mot (ici la Phrase ou le Groupe Intonatif, position aussi considérée comme [+strong] pour Vaissière 1988).
- devant un mot commençant par une voyelle, la consonne est en position faible. Elle se joint au mot suivant, devient intervocalique et s'amenuise (se voise) (ex. "six hommes" /sizom/)
- devant un mot commençant par une consonne, la consonne est en position faible (fin de syllabe et préconsonantique) et elle disparaît (ex. "six femmes" /sifam/).

Brunot et Bruneau (1937) notent que dans l'évolution de la langue, la présence de ces trois allomorphes pour les mots terminant par des consonnes a évolué en un maintien de la forme la plus usitée ¹⁵ :

"De ces trois formes, si, si-z, sis, qu'ont possédées tous les mots français terminés par une consonne, la plus usitée, en général, a subsisté seule." [Brunot et Bruneau 1937 : 53]

Pour les voyelles, la position la plus forte est la position sous l'accent, mais la position initiale est aussi considérée comme une position forte. Cependant, lorsque les auteurs parlent de la position initiale pour une voyelle, ils entendent la plupart du temps la position dans la "syllabe initiale". Je n'ai pas trouvé dans les ouvrages de linguistique historique de distinction entre voyelle dans une syllabe initiale et voyelle vraiment initiale (VC). La préservation des voyelles initiales a été expliquée par la présence d'un accent secondaire en latin sur la première syllabe des mots. Cette hypothèse n'est pas admise par tous, et Bourciez et Bourciez préfèrent attribuer le maintien des voyelles initiales à leur caractéristiques articulatoires durant toute la période classique et même à l'époque française :

"La voyelle de la syllabe initiale des mots était prononcée en latin avec une netteté toute spéciale, et c'est ce qui fait que sa voyelle a régulièrement persisté en français." [Bourciez & Bourciez 1967 : 42].

Vaissière (1996) distingue aussi l'évolution des voyelles accentuées de celle des voyelles en syllabe initiale, les premières ayant subi des variations de diptongaison-monophtongaison, les secondes ayant été toujours résistantes à la diptongaison.

B.2. En quoi consiste ces évolutions ?

L'évolution des langues est caractérisée par une pression constante à la lénition. Brunot et Bruneau (1937) expliquent par exemple l'amenuisement des consonnes par une "désarticulation progressive" de la consonne : les mouvements des organes deviennent de moins en moins marqués et finissent par cesser tout à fait. La lénition va s'attaquer principalement aux positions les plus faibles, aux endroits où les indices acoustiques ou perceptifs sont les moins saillants [Steriade comm. pers., Ohala & Kawasaki 1984, Kohler 1992] ou aux segments les plus variables :

"The consonants which proved to be less resistant with time are the ones which are the more likely to disappear in spontaneous speech." [Vaissière 1996 : 70]

Martinet (1955) avance pour expliquer ce phénomène de réduction la notion d'économie fonctionnelle au sein d'une structure, c'est à dire une tendance au moindre effort qui expliquerait la nature, les causes et l'origine des

¹⁵ Martinet (1955:295) donne une explication similaire pour le maintien des consonnes faibles en position initiale en celtique. Alors que la langue faisait une opposition entre consonnes faibles et fortes en position initiale, les faibles se sont maintenues car elles étaient les plus usitées, dans des formes le plus souvent précédées d'une copule ou de préverbes.

changements linguistiques. Or, si cette tendance à la réduction domine la chaîne de parole, nous avons vu que celle-ci n'affecte pas toutes les positions de façon symétrique : *la position initiale apparaît comme une position résistante à cette tendance de réduction.*

Selon Venneman (1993), les changements linguistiques suivent un principe de mise en relief syntagmatique des contrastes au sein d'une syllabe ou d'un mot. En suivant ce principe, l'évolution linguistique tend vers la formation d'un mot optimal constitué d'une consonne initiale très forte, d'une consonne forte à l'attaque de la syllabe accentuée, et partout ailleurs de consonnes faibles. Chez Martinet (1955), l'évolution vers ce mot optimal est obtenu par les processus de "medial obstruent weakening" et "initial sonorant strengthening" qui vont produire une consonne forte en position initiale et des consonnes faibles en position médiane. Hock (1992) précise que le renforcement à l'initiale n'est pas le renforcement d'un segment ou d'un trait particulier, mais un renforcement de cette position particulière dans le mot.

Le statut particulier de la position initiale dans l'évolution linguistique des langues peut donc se résumer par une résistance particulière des segments en position initiale aux changements diachroniques. La position initiale forte se distingue alors des positions non-initiales subséquentes faibles où les segments sont réduits.

III.C. La position initiale dans les variations synchroniques. Indices phonologiques

L'examen des comportements phonologiques des sons du langage montre aussi une asymétrie dans le traitement des segments en position initiale par rapport aux positions non initiales. Ici encore les segments en position initiale sont caractérisés par leur robustesse aux changements, cette fois-ci synchroniques.

C.1. Variations phonologiques moins fréquentes en position initiale

Le comportement phonologique des segments n'est pas le même en fonction de leur position dans la Syllabe ou dans le Mot.

La position initiale est beaucoup moins propice aux phénomènes d'assimilation, de lénition ou de délétion que les positions non-initiales [parmi d'autres Bell & Hooper 1978, Ohala & Kawasaki 1984, Goldsmith 1990, Harris 1990, Kohler 1992]. Pour ne citer que quelques exemples : la neutralisation du contraste de voisement observée en fin de mot est beaucoup plus rare en début de mot [Kohler 1990, Gow et al. 1996] ; le /r/ espagnol non géminé n'est produit qu'avec un seul battement en position médiane intervocalique alors qu'il maintient ses battements multiples en position initiale [Martinet 1955, Delattre 1965]; certaines consonnes anglaises peuvent apparaître comme des "flaps" en position médiane alors qu'elles sont toujours occlusives en début de mot; les consonnes nasales dans plusieurs langues perdent leur distinction de lieu d'articulation en fin de syllabe alors qu'elles la maintiennent en position initiale [Fujimura & Erickson 1997].

L'asymétrie entre position initiale et finale apparaît également dans la structuration des unités de la langue. Au niveau de la syllabe, les langues ont tendance à privilégier la présence d'un élément fort à l'attaque. Par exemple, bien que cela ne soit pas la seule contrainte à la formation des syllabes, il y a dans les langues une tendance à suivre la hiérarchie de sonorité. Une syllabe commence avec une suite de segments de sonorité croissante, l'élément le moins sonnant (le plus fort) apparaissant en premier. Le principe du "onset first"¹⁶ de Clements & Keyser (1983) privilégie aussi l'alourdissement des débuts de syllabe plutôt que celui des fins de syllabe.

Enfin, le statut particulier de la position initiale apparaît aussi si l'on considère la distribution des allophones ou la diversité des inventaires de sons dans les langues en fonction de la position. Keating et al. (1983) ont montré que l'existence de diverses allophones pour les consonnes sourdes et sonores dans les langues dépend de leur position. L'inventaire de consonnes tend à être plus riche en position initiale. En français, par exemple, cette tendance apparaît dans la distribution des allophones de /R/ : en position initiale, il y a trois allophones

¹⁶ Dans une séquence VCCCV la coupe syllabique tend à être faite en associant le plus grand nombre de consonnes médianes à la seconde syllabe (en respectant les contraintes phonotactiques des langues pour l'attaque) puis en associant les consonnes restantes à la première syllabe. Ainsi, les langues privilégient l'association des consonnes à l'attaque de la syllabe plutôt qu'à la coda.

possibles alors qu'en fin de mot n'apparaît qu'un allophone de /R/ plus ou moins dévoisé [Chafcouloff 1984]. En espagnol, cette asymétrie apparaît dans l'inventaire consonantique qui contient 19 consonnes en position initiale mais seulement 7 en position finale : une plosive sur 6, une nasale sur 3 nasales, et deux liquides sur 5 apparaissent en position finale [Delattre 1965].

C.2. Une phonologisation des caractéristiques articulatoires de la position initiale ?

Comparée aux positions non-initiales, la position initiale semble donc caractérisée par une plus grande robustesse face aux changements phonologiques et par une plus grande richesse dans la nature des segments qui y apparaissent. Cette asymétrie entre positions peut être due en partie aux caractéristiques articulatoires et acoustiques des segments en position initiale.

La stabilité phonologique des segments en position initiale a été expliquée par une articulation des segments plus "stable" et plus "précise" dans cette position [Ohala et Kawasaki 1984, Kohler 1990, Browman et Goldstein 1995]. En effet, nous avons vu que la coordination temporelle des gestes pour les segments initiaux était moins variable et plus précise que dans les positions non initiales (cf. section II.B.3). En contrepartie, les segments en position finale ont des gestes plus variables et donc, sont plus à même de subir des chevauchements [Kohler & Hardcastle 1974, Byrd 1994].

Les différences de comportement entre position initiale et finale ont aussi été expliquées par la prépondérance de la coarticulation anticipatrice par rapport à la coarticulation persévératrice. Associée au fait que la coarticulation de consonne à voyelle est plus importante que la coarticulation de voyelle à consonne, la réduction des consonnes finales s'explique. Si une voyelle prend les caractéristiques de la consonne suivante finale, alors la consonne n'a plus qu'une fonction amoindrie et redondante. La consonne peut donc se réduire voire disparaître. C'est le cas des consonnes nasales finales qui ont disparu en français après que leur trait nasal ait été intégré dans la voyelle précédente [Ohala & Kawasaki 1984]. La prédominance de la coarticulation anticipatrice peut aussi expliquer les modifications des consonnes finales sous l'influence des consonnes initiales suivantes (p. ex. "bat cave" => "/baek/ cave" mais jamais "back tap" => * "back /kaep/") [Gow et al. 1996]. Pourtant, comme nous l'avons déjà remarqué, l'asymétrie entre coarticulation anticipatrice et persévératrice reflète non seulement une différence de position dans un constituant mais surtout une différence de combinatoire entre sons.

Enfin, la résistance des segments initiaux aux variations phonologiques a aussi été expliquée par le fait que ces segments sont considérés comme plus saillants sur les plans acoustique/perceptif [Ohala & Kawasaki 1984, Manuel 1991, Kohler 1992, Gow et al. 1996]. Ici encore, cette explication a été avancée principalement pour rendre compte de la réduction des consonnes finales coda par rapport aux consonnes initiales. Les consonnes initiales seraient préservées car leur contenu informatif est plus saillant et robuste d'un point de vue perceptif que celui des consonnes finales. Par exemple, les indices perceptifs portés par les transitions CV sont plus riches (modulations acoustiques, amplitude, forme spectrale, f0), que ceux des transitions VC [Malmberg 1950, Malécot 1960, Fujimura et al. 1978]. Les informations sur le lieu d'articulation des consonnes portées par le bruit de relâchement et les informations sur le caractère voisé ou non de la consonne données par la durée du VOT sont apparentes pour les consonnes d'attaque mais pas (peu) pour les consonnes finales (surtout dans les langues comme l'anglais où les consonnes finales sont souvent non relâchées) :

"There are thus stronger and more numerous cues as to the identity of place of articulation, particularly for stops, which are differentiated by spectral characteristics of the burst and (in the case of voiceless ones) of the aspiration, over and above the difference in formant transitions." [Kohler 1990 : 88].

En conséquence, dans la syllabe CV, plus saillante, les contrastes sont plus à même d'être préservés, alors qu'ils seront réduits en position finale :

"the syllable or word-initial position has a higher signalling value for a listener and must therefore be given a more precise articulation by a speaker. Thus the final position has a higher reduction coefficient than the initial one [...]. What is not distinctive for a listener anyway may be reduced by a speaker more easily to yield to the principle of economy of effort." [Kohler 1992 : 209]

L'importance de la saillance des informations portées par une unité dans la langue a été aussi utilisée pour expliquer pourquoi les mots les moins informatifs ("less informational saliency") tendent à perdre leur substance phonologique dans l'évolution pour devenir des mots fonctions ou des affixes des autres mots [Givon 1975].

III.D. La position initiale dans la production et la perception du langage. Indices psycholinguistiques

Puisqu'ils sont plus "saillants" et moins sujets à réduction, les débuts de mots sont considérés comme des "îlots informatifs" ("island of recoverability", Gow et al. 1996). Ainsi, ils peuvent avoir un statut particulier lors du traitement perceptif de la parole, notamment pour la segmentation et la reconnaissance lexicale.

Parce qu'ils sont plus stables phonologiquement, les débuts de mots sont les sources d'information les plus robustes (invariantes) de la forme phonologique sous-jacente qui est supposée être la forme stockée dans le lexique mental [Gow et al. 1996]. Moins réduits, les débuts de Mot peuvent faciliter la reconnaissance lexicale en offrant à l'auditeur des formes de surface peu différentes des formes sous-jacentes.

Dans le même ordre d'idée, les variations allophoniques dépendantes de la position peuvent être considérées comme des indices facilitant la segmentation lexicale : lorsque l'auditeur rencontre dans le continuum de parole un allophone qui n'apparaît qu'en position initiale, il peut en déduire que celui-ci marque le début d'un nouveau mot et qu'il y a donc une frontière lexicale. Les variations allophoniques ne sont alors plus considérées comme une source de bruit pour le traitement de la parole mais comme des informations distributionnelles [Church 1987]. Les études portant sur la segmentation lexicale dans des suites ambiguës montrent que les auditeurs peuvent se servir de la présence de ces allophones initiaux pour segmenter correctement la suite [p. ex. Nakatani & Dukes 1977]. Toutefois, les auditeurs ont des performances médiocres si les frontières de mots ne sont pas marquées dans le signal par des allophones particuliers ou des indices importants (par ex. l'aspiration ou la glottalisation). Ceci laisse à penser que les variations articulatoires observées en position initiale dans un Mot ou une Syllabe ne sont pas forcément toutes perceptibles ou utiles à l'auditeur dans sa tâche de segmentation. Il est possible que les variations articulatoires qui sont amplifiées au début des constituants supérieurs soient des indices de segmentation plus robustes. Ces indices s'associeraient alors aux autres indices de frontières prosodiques (comme les variations de f_0 , de durée, etc...). Les performances obtenues dans des tâches de segmentation montrent d'ailleurs que les auditeurs obtiennent de meilleurs résultats lorsque les suites à segmenter se basent sur une frontière supérieure à une frontière de Mot [p. ex. O'Connor & Tooley 1964, Nakatani & Dukes 1977, Rietveld 1980, Quené 1992].

Le statut particulier de la position initiale apparaît également lorsque l'on considère le coût sur le traitement de la parole des distorsions effectuées dans cette position. Plusieurs études ont montré que la détérioration de l'information placée au début d'un Mot a un effet beaucoup plus sévère sur la reconnaissance lexicale qu'une distorsion apparaissant plus loin dans le mot [p. ex. Bagley 1900, Cole & Jakimik 1980].

Ces résultats ont été utilisés par Marslen-Wilson (1980) dans sa théorie sur la reconnaissance lexicale. Pour lui, un mot se divise en deux parties, une plus informative que l'autre. La partie informative qui est le début du mot va permettre l'activation de toutes les entrées lexicales partageant la même suite de phonèmes à l'initiale (la cohorte initiale). Les phonèmes subséquents, au fur et à mesure qu'ils sont entendus, vont faire une sélection entre toutes les entrées dans cette cohorte initiale, jusqu'à ce que le mot atteigne son point d'unicité et soit reconnu. Ce modèle jugé trop restrictif n'est pas admis par tous [voir p. ex. Hawkins & Cutler 1988]. Néanmoins, le poids informatif du début d'un mot lors de la reconnaissance lexicale est communément accepté. Ce poids informatif peut d'ailleurs être expliqué tout simplement par le fait que le début d'un mot arrive en premier à l'oreille.

L'importance du début du mot apparaît aussi dans des tâches où l'auditeur doit retrouver un mot à partir d'une petite portion de celui-ci ("word retrieval"). Ces études montrent que les sujets parviennent plus facilement et plus rapidement à retrouver un mot à partir de sa portion initiale qu'à partir de sa portion finale, et encore moins de sa portion médiane [Horowitz et al 1968, Nootboom 1981]. De même, dans les cas de "mot sur le bout de la langue", les locuteurs ont plus souvent une notion de l'aspect de la portion initiale du mot qu'ils recherchent que de sa portion finale [Browman 1978, Brown & McNeill 1966].

Les observations sur la distribution et les caractéristiques des erreurs de production en fonction de la position dans le mot permettent aussi de mettre en avant le statut particulier de la position initiale. Les recherches sur les erreurs de production ont permis de montrer l'importance de la structuration des unités de parole lors de

l'encodage. Les segments qui sont intervertis par erreur sont toujours des segments qui ont la même position dans les mots d'origine. Par exemple, les consonnes initiales /f/ et /p/ dans les mots "parade fad foot parole" sont plus à même d'être interverties ("farade pad poot farole") que lorsqu'elles ne sont pas dans la même position dans le mot (ex. "repeat fad foot repair") [Shattuck-Hufnagel 1985]. D'autre part, Shattuck-Hufnagel (1986) montre que c'est en position initiale que ces erreurs d'interversion sont les plus fréquentes, puis lorsque les segments sont en position accentuée (surtout pour les voyelles). Alors,

"The implication of these findings is that both structure and lexical stress are part of the representation that is in force when consonant errors occur, and that similarity in word-onset position is the more powerful of the two factors in determining which pairs of consonants will interact in errors." [Shattuck-Hufnagel 1986 : 134]

Pourtant, on ne sait pas pourquoi ces segments (en position initiale et en position accentuée) sont plus susceptibles d'être intervertis que les autres. Klich et al. (1979) explique la grande fréquence de substitution en position initiale par le fait que cette position relèverait d'une plus grande complexité à l'encodage. Van Lieshout et al. (1995) avancent une explication similaire pour expliquer la plus forte fréquence du bégaiement en position initiale :

"We would predict that whenever in such situations more articulatory effort is required, as in sentence initial position and with longer words or sentences, disfluency will increase." [van Lieshout et al. 1995 : 371]

III.E Conclusion sur le statut particulier de la position initiale

Dans cette section nous avons vu que la position initiale peut être considérée comme une position particulière lorsque l'on observe le comportement linguistique des segments qui s'y trouvent. La position initiale est considérée comme une position forte dans laquelle les segments sont plus résistants aux réductions. Il est intéressant de noter que certaines caractéristiques de la position initiale sont semblables à celles de la position sous l'accent, position qui est unanimement considérée comme une position particulière.

Le statut particulier de la position initiale (et sous l'accent) apparaît donc à plusieurs niveaux de représentation de la parole :

- les données issues des travaux de psycholinguistique montrent que la spécification des différentes positions dans le squelette d'un mot se fait *au niveau de l'encodage* (p. ex. Levelt 1992). La position initiale y apparaît comme une position marquée.
- les données articulatoires présentées dans la section II montrent aussi que ces positions présentent des caractéristiques particulières *au niveau de la production*.
- certaines de ces caractéristiques phonétiques (articulatoires) ont été phonologisées *au niveau linguistique*. Les segments en position initiale sont moins sujets aux tendances réductrices de la langue, tant dans l'évolution diachronique que dans son fonctionnement synchronique.
- enfin, *au niveau du traitement perceptif*, la position initiale se distingue par son poids informatif pour la segmentation et la reconnaissance lexicale.

Dans les études que je viens de présenter, c'est principalement au niveau du Mot (ou de la Syllabe) que le statut particulier de la position initiale est apparu. Dans mon étude, je tâcherai de démontrer que ce statut particulier s'étend également à la position initiale dans des constituants de niveaux supérieurs. Cette démonstration se fera principalement au niveau de la production, que je considérerai comme le reflet de l'encodage particulier de cette position dans le message linguistique. Je chercherai aussi à voir si ces variations articulatoires se traduisent par des caractéristiques acoustiques distinguant les segments en position initiale à différents niveaux prosodiques. Je n'apporterai pas de validation perceptive, mais je discuterai des conséquences de ces variations articulatoires et acoustiques sur la saillance acoustique des segments initiaux et sur leur stabilité phonologique.

Figure 1.10 : Comparaison des variations articulatoires observées sous l'accent (sur fond gris) et en position initiale dans un constituant prosodique (sur fond blanc). Les variations sont illustrées par articulateur avec un exemple de segment représentant sa catégorie (ex. /t/ pour occlusives orales, /n/ pour nasales, /u/ pour voyelles arrondies, /p/ pour labiales).

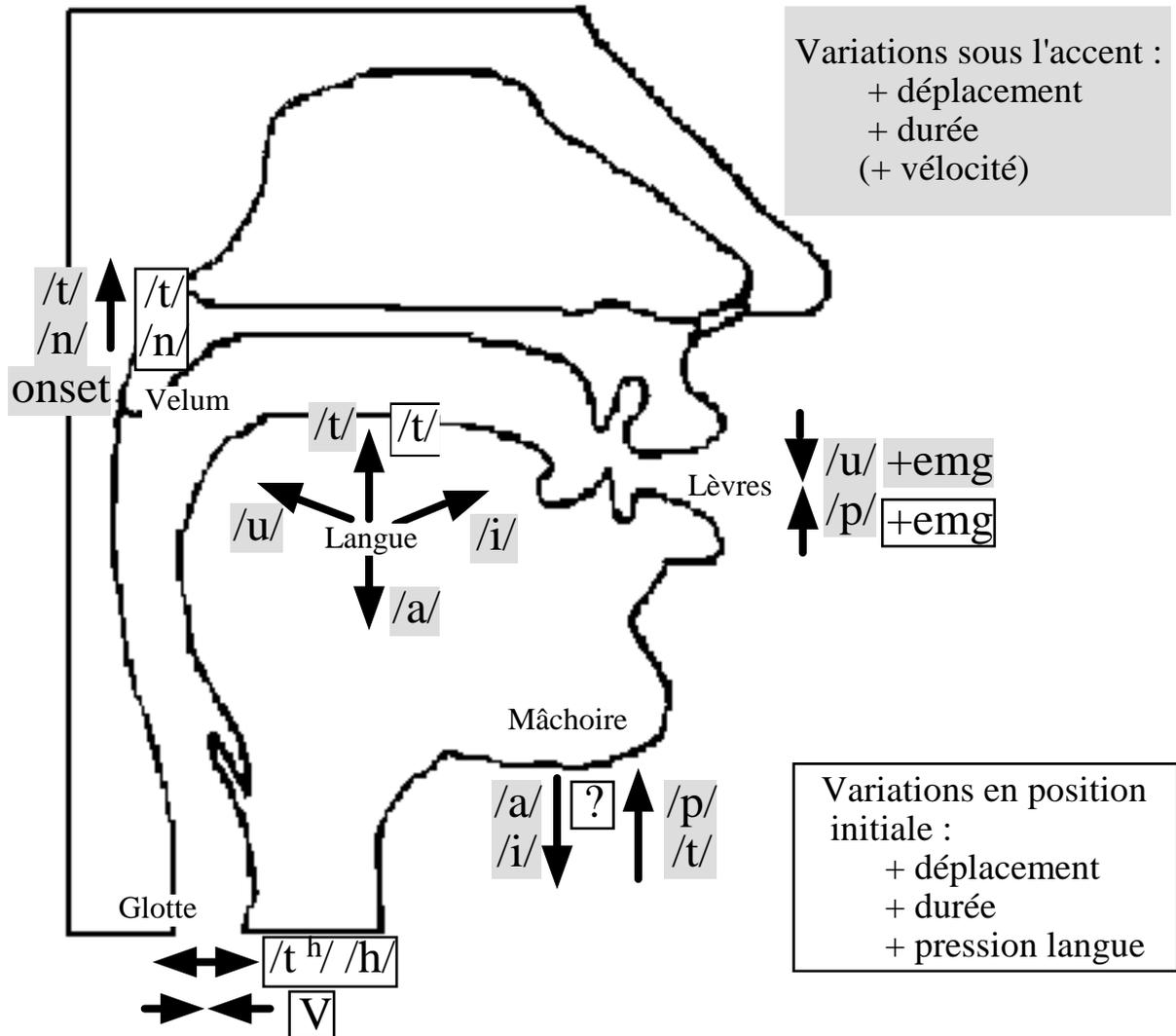
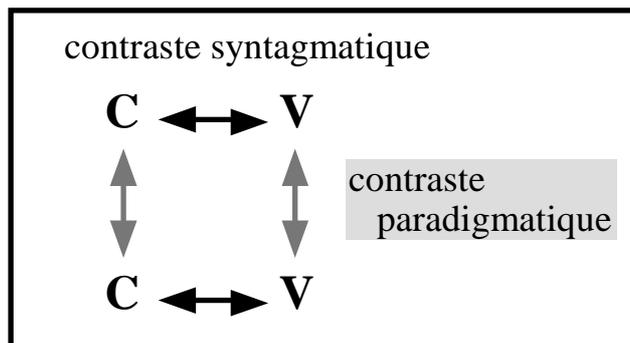


Figure 1.11 : En noir, hypothèse d'augmentation de sonorité mettant en valeur le contraste syntagmatique entre consonne (C) et voyelle (V). En gris, hypothèse de renforcement des traits distinctifs par hyperarticulation locale mettant en valeur le contraste paradigmatique entre segments.



IV. HYPOTHESES SUR LE MECANISME GOUVERNANT LES VARIATIONS ARTICULATOIRES EN POSITION INITIALE.

IV.A. Comparaison entre les variations articulatoires observées sous l'accent et celles observées en position initiale

La figure 1.10 résume les variations observées sous l'accent (flèches grises) et celles affectant les segments en position initiale dans un constituant (flèches noires). La comparaison de ces deux facteurs de variation n'est pas toujours aisée car les segments et les articulateurs qui ont été observés sous l'accent et en position initiale ne sont pas toujours les mêmes. Pourtant, les points suivants peuvent se dégager :

- sous l'accent et en position initiale, l'amplitude et la durée des gestes articulatoires tendent à augmenter.
- articulation labiale : l'accent et la position initiale ont un effet similaire en provoquant une augmentation de l'activité musculaire labiale. L'effet de la position initiale sur le mouvement des lèvres (arrondissement, protrusion) n'a pas assez été étudié pour en tirer des conclusions.
- articulation nasale : l'accent et la position initiale semble interagir si l'on considère les résultats de Vaissière (1988) sur l'anglais. A l'initiale de Mot, le velum est toujours plus élevé qu'en position coda, ceci pour les consonnes nasales et orales. L'accent semble contribuer à renforcer cette distinction entre initiale et finale : l'accent augmente l'élévation en position initiale dans un Mot et il augmente l'abaissement du velum en position coda.
- articulation linguale : l'accent et la position initiale renforcent le caractère constrictif des consonnes par une élévation de la langue. Pour les voyelles, l'accent renforce le plus souvent la qualité inhérente aux voyelles en les rendant plus périphériques (cf section II.A.3). Pour la position initiale, seules quelques données acoustiques laissent penser que si les voyelles initiales sont affectées (en finnois et non en tchèque, Lehiste 1964), la variation contribue aussi à rendre les voyelles plus périphériques. Il est possible qu'il y ait des différences dans l'élévation de la mâchoire en position initiale comme cela a été montré pour l'accent, mais cela n'a pas été assez étudié pour en tirer des conclusions.
- au niveau de la glotte, la position initiale et la présence d'un accent sont deux facteurs favorisant l'apparition de glottalisation des voyelles.

Les variations observées en position initiale ressemblent donc globalement à celles observées sous l'accent. Puisque la position sous l'accent et la position frontière sont deux positions importantes dans l'organisation prosodique, on pourrait s'attendre à ce que les variations dans ces deux types de positions soient de même nature et soient gouvernées par le même mécanisme physiologique.

IV.B. Hypothèses proposées pour expliquer les variations articulatoires sous l'accent

B.1. L'hypothèse d'augmentation du contraste de sonorité et l'hypothèse de renforcement des traits distinctifs

Deux hypothèses ont été opposées pour décrire le mécanisme sous-jacent responsable des variations sous l'accent. Ces hypothèses reposent sur des notions anciennes mais elles ont été récemment reformulées et débattues dans la littérature portant sur la prosodie articulatoire. Ces hypothèses, illustrées sur la figure 1.11, sont les suivantes :

(1) *L'hypothèse d'augmentation du contraste de sonorité ou "sonority expansion"* :

Edwards et Beckman (1988) et Beckman et al. (1992) proposent que l'accent contribue à augmenter la distinction de sonorité à l'intérieur de la syllabe en renforçant la sonorité intrinsèque des segments. En position accentuée, la consonne (C) serait moins sonnante car plus fermée alors que la voyelle (V) serait plus sonnante car plus ouverte et ouverte plus longtemps. Ainsi, l'accent aurait un effet sur l'axe syntagmatique en renforçant la distinction entre consonne et voyelle suivante. Cette hypothèse reprend l'idée proposée par Straka (1963) pour expliquer les variations articulatoires en parole renforcée. Selon lui, l'augmentation du contraste consonne-voyelle n'est pas expliquée en terme de sonorité mais en terme d'aperture : la consonne est plus fermée et la

voyelle est plus ouverte dans ce style de parole. Straka a étendu cette hypothèse à la position accentuée en français pour expliquer l'augmentation de l'ouverture des voyelles sous l'accent.

(2) *L'hypothèse de renforcement des traits distinctifs ou hyperarticulation locale :*

De Jong (1995) conteste l'idée que l'accent relève uniquement d'un mécanisme d'expansion de la sonorité. L'accent n'affecte pas seulement l'articulation de la mâchoire mais celle de tous les articulateurs. D'autre part, les variations sous l'accent peuvent être contraires à l'augmentation de la sonorité du segment : par exemple, la fermeture des lèvres pour /U/ ou l'élévation de la langue pour les voyelles non-ouvertes, diminuent leur sonorité. De Jong reprend la notion d'hyperarticulation de Lindblom (1990) en disant que sous l'accent les segments sont hyperarticulés. Cette notion ne s'applique plus à une différence de situation de communication [Lindblom 1990] mais s'applique localement à la syllabe accentuée dans la chaîne. En conséquence, les gestes articulatoires sous l'accent sont plus extrêmes dans la direction de leur cible présumée. Ainsi, l'accent aurait un effet sur l'axe paradigmatique en renforçant les traits distinctifs inhérents aux segments.

A la vue des variations articulatoires observées sous l'accent (section II.A), il semblerait en fait que ces deux mécanismes coexistent :

- l'hypothèse d'augmentation du contraste de sonorité est confirmée par le comportement de la mâchoire, plus haute pour les consonnes et plus basse pour les voyelles [Farnetani & Vayra, De Jong, Giot, Beckman, Macchi, ...]
- l'hypothèse de renforcement des caractères distinctifs par hyperarticulation locale est confirmée par les observations des mouvements de la langue et des lèvres [Kent et Netsell, De Jong, Macchi, Farnetani et Vayra, Giot, Vaissière, ...]. Par contre, l'hypothèse de renforcement des traits distinctifs se trouve confronté au fait que tous les auteurs n'observent pas les mêmes variations pour les voyelles (ouverture pour Houde, stabilité pour Macchi, périphéralité pour les autres) et que les variations du velum en position initiale induisent une diminution du trait nasal pour les consonnes nasales accentuées [Vaissière 1988].

Le marquage de l'accent sur le plan articulatoire pourrait correspondre à une combinaison de ces deux mécanismes visant à augmenter la distinctivité des segments, tant sur le plan syntagmatique que sur le plan paradigmatique. L'importance de l'une ou l'autre de ces fonctions dépendrait de l'articulateur concerné ou des locuteurs qui présentent parfois des stratégies différentes pour articuler l'accent [Beckman et al. 1992, 1994, Krakow 1993, De Jong 1995, Harrington et al. 1996].

B.2. Ces hypothèses peuvent-elles rendre compte des variations en position initiale ?

Sous l'accent les deux hypothèses (sonorité et traits distinctifs) peuvent se différencier quant à leur prédiction pour l'articulation linguale des voyelles et quant à leur effet sur la mâchoire. Or, comme nous l'avons remarqué, les variations articulatoires en position initiale n'ont presque pas été étudiées pour les voyelles initiales, et pour la mâchoire, les deux études recensées montrent des résultats contradictoires.

Nous allons quand même essayer de tester ces deux hypothèses d'après les variations articulatoires connues en position initiale (section II.B.) :

- l'hypothèse d'une augmentation du contraste CV peut prédire les variations observées en position initiale pour les consonnes : les occlusives ont une occlusion linguale plus importante, les nasales (qui ont un velum plus élevé) et l'aspirée /h/ (qui a une énergie plus faible) sont plus consonantiques [Manuel 1991, Pierrehumbert & Talkin 1992, Fujimura & Erickson 1997]. Le renforcement du contraste syntagmatique au sein de la syllabe CV est aussi conforté par les résultats de Farnetani et Vayra (1996) qui observent une augmentation de la constriction de C et une ouverture de V plus importantes en position initiale. Par contre, cette hypothèse ne prédit pas la glottalisation des voyelles initiales qui ne renforce pas le contraste syntagmatique entre la voyelle glottalisée et les consonnes adjacentes. De plus, si l'on généralise l'observation acoustique de Lehiste (1964), il semblerait que les voyelles fermées sont plus fermées en position initiale ce qui ne concourt pas non plus à renforcer le contraste de sonorité.

- L'hypothèse de renforcement des traits distinctifs prédit aussi une augmentation de la constriction des occlusives en position initiale : la consonne fermée est plus fermée en position initiale. Par contre, cette hypothèse se trouve fortement contrariée par le comportement du velum : une élévation du velum pour les nasales en position initiale va à l'encontre d'un renforcement du trait de nasalité. La glottalisation des voyelles initiales ne peut pas non plus être expliquée par un renforcement du trait vocalique.

En conclusion, aucune de ces deux hypothèses ne se trouve validée par les variations articulatoires en position initiale. Comme pour les variations sous l'accent, le comportement de certains articulateurs, ou segments, conforte soit l'une soit l'autre de ces hypothèses. Je présenterai donc une autre hypothèse qui explique les variations articulatoires en position initiale comme la conséquence d'un "renforcement articulaire" à cette position.

IV.C. Hypothèse de renforcement articulaire en position initiale

C.1. Historique et définitions de la notion de "force"

C1.a. "lénition ou réduction" vs. "fortition ou renforcement"

Les modifications articulatoires des segments en position finale ou médiane sont généralement décrits sous les termes de "lénition" ou "réduction". Par opposition, les variations en position initiale sont souvent qualifiées de "fortition" ou de "renforcement". Ces termes qui font directement ou indirectement référence à une notion de "force" ont été couramment employés en linguistique historique et en phonologie pour expliquer certaines modifications diachroniques ou synchroniques de la nature des segments [p.ex. Lass 1984, Straka 1964, Hock 1992].

La lénition peut être définie comme suit :

"Lenition: (also weakening) Any phonological process in which a segment becomes either less strongly occluded or more sonorous, such as [k] → [x], [x] → [h] or [k] → [g]. Often the term is extended to various other processes, such as loss of aspiration, shortening of long segments and monophthongization of diphthongs, which represent 'weakening' in some intuitive sense." [Trask 1996]

"Lénition est le terme utilisé pour décrire une mutation de consonnes qui a normalement trouvé son origine dans la réduction de l'énergie employée à leur articulation." [Thurneysen, 1946, cité par Martinet 1955 : 257]

Ou bien, chez Duez, la réduction en parole spontanée est considérée comme un

"obscuration process in which a consonant is modified in the direction of lesser constriction or weaker articulation, such as a stop becoming an affricate or fricative, or a fricative becoming a sonorant." [Duez 1995 : 409]

La fortition (ou le renforcement) est considérée comme le mécanisme inverse. Chez Trask elle est définie comme suit :

"Fortition : (also strengthening) Any phonological process in which some segment becomes 'stronger' (more consonant-like). An example is the development of the glide [j] into some kind of fricative, affricate or plosive in most varieties of Basque." [Trask 1996]

Chez d'autres auteurs, la fortition n'est pas vraiment définie mais elle est suggérée dans leurs descriptions sous les termes de "plus grande force articulaire", "plus d'énergie", "plus grande tension", "articulations plus nettes et précises", "articulations plus extrêmes", "articulations plus consonantiques" [Ohala & Kawasaki 1984, Vaissière 1986a, 1988, Fujimura 1990, Keating 1995, Dilley et al. 1996, Fujimura & Erickson 1997, Fougeron & Keating 1997, ...].

C1.b. Qu'appelle-t-on "force articulaire" ou "effort articulaire"?

Le concept de "force articulaire" ou "d'effort articulaire" est une notion qui a été largement utilisée dans la littérature du début du siècle (sûrement sous l'impulsion des premières données articulatoires) et qui, en même

temps, a été très rarement définie sur le plan physiologique. Pourtant, comme Slis le remarque, cette notion permet de décrire des variations articulatoires bien précises :

"articulatory effort [...] commonly used in the literature, it is not particularly well defined, and seems to be largely based on intuition. Nevertheless, it may be shown that in a number of linguistic oppositions, allegedly differing in articulatory effort, there are consistent behavioural correlates [...]." [Slis 1971 : 398]

Delattre (1940a) note que chez Rousselot il est fait référence à la "force de l'articulation". Puis chez ces élèves (Genévrier, par exemple) le terme devient "force d'articulation". Mais si ce terme est issu de l'école de Rousselot, ni lui, ni ses descendants ne l'ont défini et tous en font un usage assez vague. Dans son article, Delattre (1940a) propose d'en donner la définition suivante :

"Nous croyons qu'il faut entendre par force d'articulation consonantique la somme d'énergie nécessaire pour fournir la totalité des efforts musculaires qui prennent part à l'émission d'une consonne" [Delattre 1940a : 111]

Malécot, qui a entrepris de nombreuses études sur la force d'articulation, propose une définition fortement similaire :

"Force of articulation is a physiological attribute of consonants; the degree of force of articulation of a given consonant is defined as the relative amount of muscular energy required to utter it." [Malécot 1955 : 35]

Straka (1963) définit le terme plus précisément en le comparant aux autres aspects de l'intensité des articulations (p. 102 et suivantes). Il considère comme synonyme "l'énergie articulatoire", "la force articulatoire" et "l'effort articulatoire", qu'il définit ainsi :

"l'énergie articulatoire n'est rien d'autre que la force de contraction des muscles entrant en action pour l'articulation donnée." [Straka 1963 : 91]

Cette énergie (ou force) articulatoire est celle du *mouvement articulatoire*. Par exemple, c'est la force avec laquelle les muscles de la langue et du maxillaire se contractent en vue de mettre en place ces organes pour l'articulation voulue.

La "force articulatoire" en tant que force du "mouvement articulatoire" se distingue de "l'effort musculaire général" qui est l'ensemble des efforts musculaires qu'exige une articulation donnée. Cet "effort musculaire général" inclut la "force articulatoire" mais aussi la "force laryngienne ou phonatoire" et la "force expiratoire"¹⁷. Cette distinction entre les différentes composantes de l'effort total apparaît nécessaire pour Straka car les variations de contraction musculaire ne portent pas nécessairement sur tout "l'effort musculaire général", mais sur certaines de ses composantes (de ses "forces"). D'autre part, les variations des différentes forces peuvent se compenser (p. ex. un affaiblissement au niveau des articulations supraglottales peut se compenser par un renforcement au niveau de la force expiratoire). Ainsi, les changements phonétiques ne sont pas dus à des modifications de l'effort total mais à celles de forces spécifiques.

Straka fait aussi une distinction entre "force articulatoire" et "tension articulatoire" (p.108). La force articulatoire correspond à la première phase de l'articulation : *la phase de contraction musculaire nécessaire à la mise en place des organes en vue d'une articulation* (la "catastase" selon Grammont). C'est donc une notion dynamique qui se rapporte au mouvement. La tension articulatoire (à ne pas confondre avec la tension musculaire), par contre, est une notion statique. Elle correspond au "maintien des muscles en état de contraction" pour "le maintien des organes en position pendant un minimum de temps". Lors d'une articulation donnée, le maintien de l'état de contraction musculaire (tension articulatoire) au niveau créé par l'effort du mouvement initial (force articulatoire) peut aussi changer. Mais cette variation est différente de celle qui affecte la force articulatoire lors de la production du mouvement.

En résumé, pour Straka, les variations de force articulatoire consistent en des variations de la contraction-décontraction musculaire. Les muscles affectés sont ceux des organes entrant en jeu dans une articulation particulière et non ceux du mécanisme global de production. Ces contractions musculaires peuvent être plus ou

¹⁷ Straka fait aussi la différence entre la "force articulatoire", qui s'applique aux mouvements des lèvres, de la mâchoire et de la langue, et la "force vélo-pharyngale" qui concerne les mouvements du velum et de la paroi pharyngale. Par contre, lorsqu'il parle des variations d'articulation nasale en parole renforcée il inclut les variations de la contraction des muscles du velum dans la "force articulatoire", avec celles de la langue ou des lèvres.

moins énergiques. Comme elles sont responsables de la mise en place des organes pour l'articulation donnée, lorsqu'elles sont plus énergiques, elles vont pousser l'organe dans une position plus extrême. Si le muscle en question est un muscle élévateur, la position de l'organe sera plus haute. Si c'est un muscle abaisseur, sa position sera plus basse¹⁸.

C1.c. Exemples de contrastes décrits à l'aide de la notion de "force articulaire"

α. Échelles des sons selon leur "force articulaire"

La notion de "force articulaire" a été utilisée depuis longtemps pour caractériser différentes classes de sons du langage [par ex. Rousselot 1901, Roudet 1910, Martinet 1955, ...]. Les sons sont ordonnés selon une ou des échelles de "force" qui peuvent se résumer comme suit :

occlusives > affriquées > constrictives > voyelles sourdes > sonores > nasales et liquides palatale > non-palatale
--

(D'après Straka (1964), avec ">" signifiant "plus fort que")

β. Opposition "fortis-lenis" :

Les termes "fortis" et "lenis" renvoient aussi à une notion de force articulaire. Ils sont généralement utilisés pour décrire un contraste phonologique entre deux classes de consonnes qui ne peut pas s'expliquer en terme de voisement, ou pour décrire des caractéristiques phonétiques secondaires associées au contraste de voisement entre les consonnes.

Pour les consonnes françaises, Malmberg (1943) donne la classification suivante :

fortes : p, t, k, f, s, S lenes : b, d, g, v, z, J, m, ^, n, l, r, j, ' , w
--

L'existence d'un trait fortis/lenis comme trait primaire d'opposition phonologique a été largement controversé [voir Malécot 1970, Jeagger 1983, Kohler 1985, ...]. D'une part, parce que la base articulaire ou physiologique de ce prétendu contraste est très vague. D'autre part, parce que les propriétés phonétiques que l'on attribue à ce contraste sont très variables et bien souvent circulaires [voir p. ex. Jeagger 1983]. Dans cette étude, il ne s'agit pas de défendre la validité d'un contraste fortis/lenis dans la représentation phonologique d'un système. Je ne m'intéresse à cette notion que parce qu'elle a été associée à l'idée de "force d'articulation". Les consonnes "fortis" sont supposées être articulées avec une plus grande force articulaire, comme le note Pike :

"Fortis articulation entails strong, tense movements [...] relative to a norm assumed for all sounds [...] weak articulation is lenis." [Pike 1943 : 128]

Les différences de force articulaire qui servent à distinguer ces segments renvoient souvent dans la littérature à des impressions suggestives quant à la force musculaire développée pour l'articulation d'un segment (le "sens musculaire", selon Delattre 1940a). Elles peuvent aussi correspondre à une impression auditive de force [p. ex. Malécot 1955]. Ces différences de force articulaire ont aussi été illustrées par des différences articulatoires. Mais, la multitude et la diversité des variations articulatoires (ou acoustiques) présentées dans la littérature comme étant des corrélats de la force articulaire ont provoquées de fortes controverses à propos de l'utilisation de cette notion [voir p. ex. la discussion entre Lebrun et Malécot citée par Debrock 1977]¹⁹. Bien souvent dans ces études, on ne sait en quoi consistent exactement ces variations articulatoires et ni si elles sont réellement une mesure de la force d'articulation, ni s'il est possible de mesurer celle-ci. Néanmoins, comme nous allons le voir

¹⁸ C'est sur cette distinction entre muscles abaisseurs et muscles éleveurs, et leur définition souvent subjective, que la théorie de Straka est la plus discutable; nous verrons cela plus tard.

¹⁹ Par exemple, les consonnes fortes ont été décrites comme plus résistantes au débit d'air (Troubetzkoy 1949), comme ayant une plus grande pression d'air intra-orale (Rousselot 1897, Stetson 1951, Malécot 1955) ou une plus grande force pulmonaire, comme étant plus longues (Jakobson, Fant & Halle 1963, Straka 1963), comme ayant des transitions avec les voyelles environnantes plus abruptes (Debrock 1977, Jeagger 1983)...

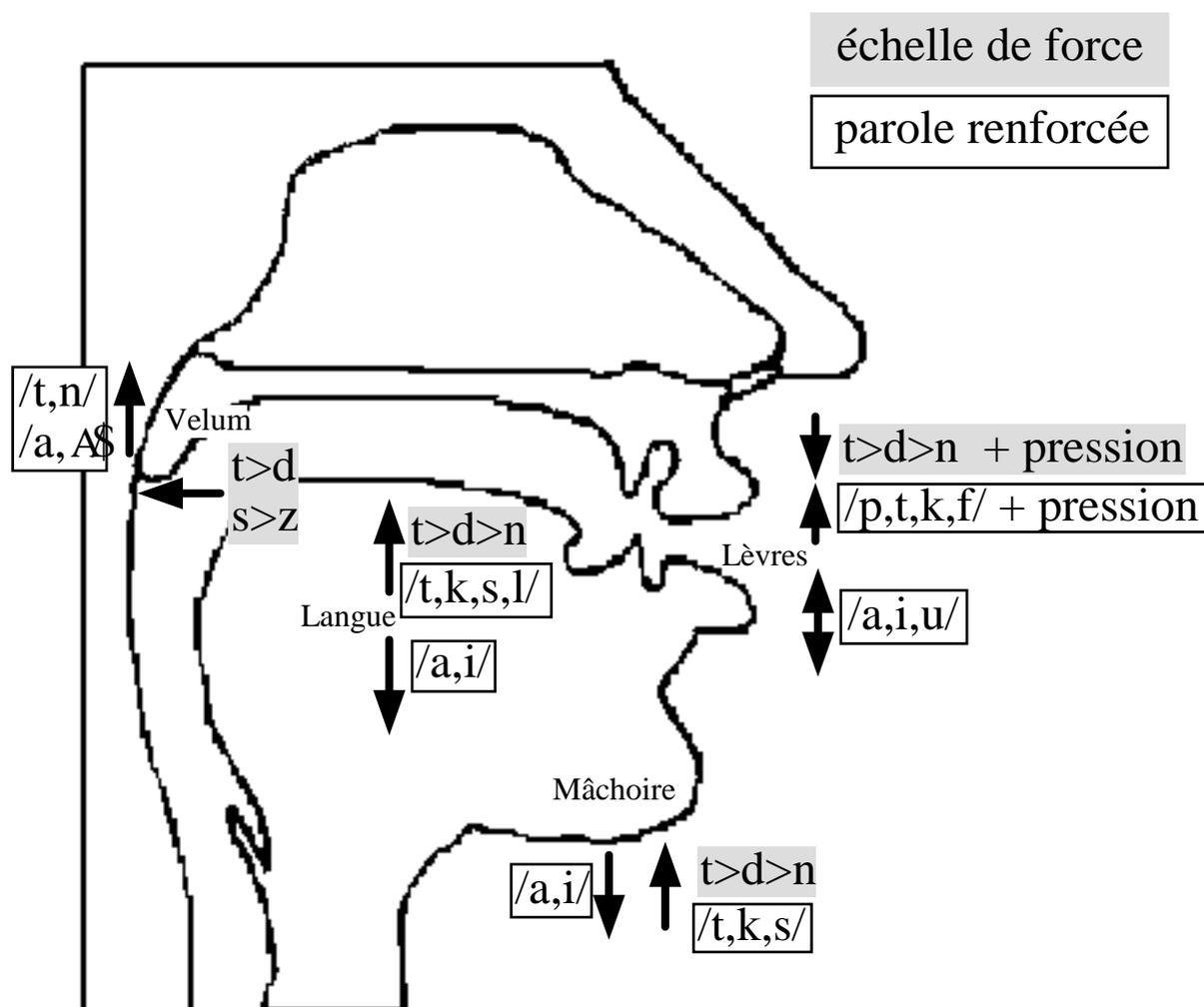
l'examen des caractéristiques articulatoires qui ont été associées à un renforcement articulaire présentent des similarités frappantes avec les variations articulatoires observées en position initiale.

C.2. Caractéristiques articulatoires des segments "forts", "fortis" et de la parole "renforcée".

α. les segments "forts" :

Les segments prétendus "forts" sont les consonnes fortis et les segments placés en haut de l'échelle de force présentée ci-dessus. Leurs caractéristiques articulatoires sont illustrées sur la figure 1.12 (sur fond grisé). Le signe ">" signifie "plus de" pour chaque variable articulatoire étudiée.

Figure 1.12 : Caractéristiques articulatoires des sons suivant l'échelle de force (sourdes>sonores>nasales) (sur fond grisé) et en parole renforcée (sur fond blanc).



Ils se caractérisent par :

- une position de la mâchoire et de la langue plus élevée, un écartement labial plus étroit (sourdes > sonores > nasales, pour occlusives et fricatives) [Haden 1938, Chlumsky 1938, Simon 1967, Giot 1977]. En conséquence, l'antagonisme entre les gestes articulatoires consonantique et vocalique (CV) sur le plan de l'ouverture des maxillaires, des lèvres et de la position de la langue est plus important (sourdes>sonores>nasales) [Giot 1977]
- un élargissement de la surface de contact de la langue sur le palais (sourdes > sonores > nasales) [Rousselot 1901, Simon 1967, Marchal 1979, 1984]

- une plus grande rigidité du corps de la langue avant la rupture de l'occlusion, la langue étant alors moins enclin à subir l'influence coarticulatoire de la voyelle subséquente (sourde>sonore>nasale) [Giot 1977]
- un accolement du velum contre la paroi pharyngale plus ferme pour les consonnes non-nasales (sourdes > sonores, pour occlusives et fricatives) [Simon 1967].
- une plus grande pression (mécanique) des lèvres pour les consonnes labiales et plus grande pression de la langue contre le palais (sourdes>sonores>nasales) [Rousselot 1901, Malécot 1966]

β. la parole "renforcée" :

Les effets d'une augmentation de la force articulatoire sur plusieurs types de segments ont été étudiés par Straka (1963) dans un type de parole qu'il appelle "la parole renforcée"²⁰. Il ne définit pas clairement en quoi consiste ce type de parole, ni quels sont les consignes données aux locuteurs. Il la décrit comme "une prononciation plus énergique", "une prononciation renforcée" ou "un débit plus énergique". Ces prononciations énergiques sont comparées (1) à des prononciations "normales", "produites avec une force habituelle" et (2) à des prononciations "affaiblies", "produites avec une énergie faible, amoindrie". Les prononciations renforcées (plus énergiques) correspondent probablement à des prononciations produites avec une intensité vocale plus importante ou à des prononciations hyperarticulées. Même si l'on ne sait pas vraiment si le style de parole étudié est une mesure de la force articulatoire, les résultats présentés par Straka sont intéressants pour notre étude car les variations présentées ressemblent fortement aux variations observées en fonction de la position prosodique.

L'examen détaillé des effets de la variation de force articulatoire est utilisé par l'auteur pour expliquer certains changements historiques. Il lui permet aussi de distinguer sur le plan physiologique les consonnes et les voyelles comme deux classes de segments distinctes dans la langue. Les variations de force articulatoire ont un effet diamétralement opposé pour ces deux types de sons. Ce qui est illustré sur la figure 1.13 :

"... sous l'effet du renforcement de l'énergie articulatoire, la consonne se ferme et la voyelle s'ouvre. Inversement, sous l'effet de l'affaiblissement articulatoire, la consonne s'ouvre et la voyelle se ferme. "
(Straka 1963 : 77)

En conséquence, l'augmentation de la fermeture des consonnes et l'augmentation de l'ouverture des voyelles provoquent une augmentation du contraste d'aperture orale au sein de la syllabe CV comme le montre le schéma de Straka présenté figure 1.14.

²⁰ Les données articulatoires que Straka recense sont issues de palatographies, radiographies, cinéradiographies, tracés oscillographiques et kimographiques, personnels ou d'autres auteurs. Les données concernent plusieurs langues comme le français, l'espagnol, le catalan, l'italien, l'anglais, l'allemand, le polonais, le serbo-croate, l'albanais, l'alsacien, l'estonien...

Figure 1.13 : Comportement des voyelles et des consonnes sous l'effet d'un renforcement ou d'un affaiblissement de la force (énergie) articulatoire. Reproduit de Straka (1963, p.79). Sous l'effet d'un renforcement, les consonnes se ferment et les voyelles s'ouvrent.

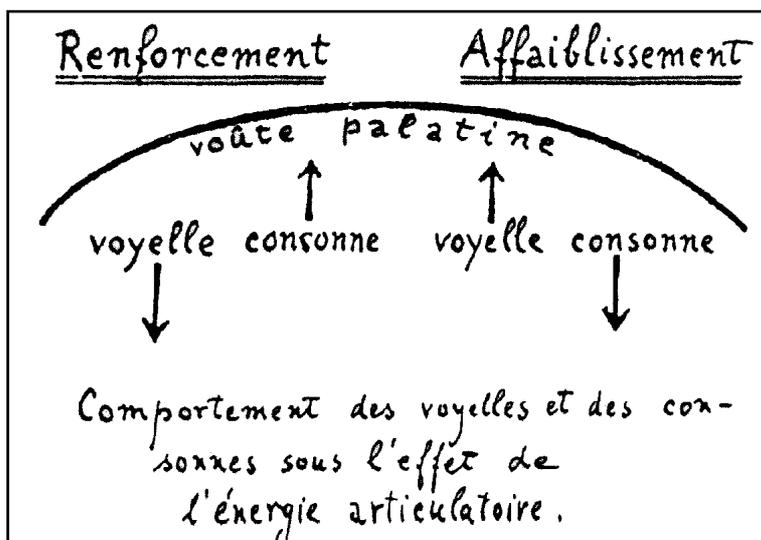


Figure 1.14 : Rapport d'aperture entre consonnes et voyelles selon l'énergie articulatoire de la syllabe. Reproduit de Straka (1963, p.83). L'augmentation de la force articulatoire renforce le contraste d'aperture au sein de la syllabe CV.

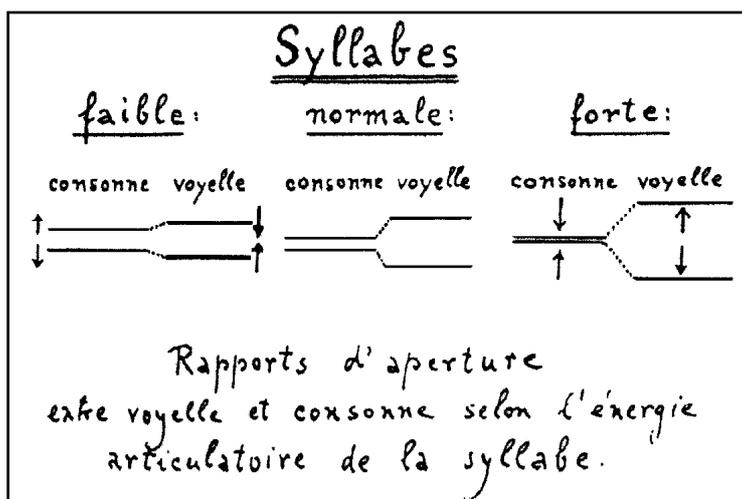


Tableau I.1 : Observations de Straka en parole renforcée, présentées par type de segment et par articulateur. Le signe ↑ note une élévation de l'articulateur (et pour les lèvres une diminution de l'aperture labiale), le signe ↓ note un abaissement de l'articulateur (et pour les lèvres une augmentation de l'aperture labiale) :

	mâchoire	langue	lèvres	velum
Occlusives				
orales	↑	↑	↑	↑
nasales	↑	↑	↑	↑
latérales	↑	↑	↑	
Fricatives	↑	↑	↑	
Voyelles				
ouvertes	↓	↓	↓	↑
fermées	↓	↓	↓	↑
nasales				↑

Les caractéristiques articulatoires des segments en prononciation renforcée sont résumées dans le tableau I.1 et sont illustrées sur la figure 1.12 (sur fond blanc). En fonction du type de segment et des articulateurs, ces observations sont :

- Les consonnes occlusives linguales sont caractérisées par une diminution de l'aperture orale provoquée par une diminution de l'angle des maxillaires et une position plus haute de la langue. Cette augmentation de l'élévation de la langue se traduit par un élargissement de sa surface de contact sur le palais. La zone de contact s'élargit en direction du palais dur (vers l'arrière pour les constrictions antérieures et vers l'avant pour les postérieures) sur l'axe médian et sur les bords latéraux de la voûte palatine. Ces modifications apparaissent sur les figures 1.15 et 1.16 qui présentent des palatographies de /t/ et /k/ et des tracés radiographiques de /t/, prononcés avec différentes forces. L'aperture des lèvres pour les consonnes est aussi réduite en prononciation renforcée. Pour les occlusives labiales, Straka note d'après des photographies de face que l'occlusion des lèvres est plus ferme lorsque les consonnes sont prononcées avec énergie. Pour les occlusives nasales et orales, la position du velum est plus élevée en prononciation renforcée. Ceci apparaît sur la figure 1.15 pour /t/. Malheureusement Straka ne présente pas d'illustration pour une nasale.
- Les consonnes constrictives subissent des modifications en prononciation renforcée similaires à celles des occlusives. L'aperture orale est réduite par une élévation de la mâchoire et de la langue. Le rétrécissement de la constriction orale se traduit par un élargissement du contact linguopalatal sur les bords du palais en direction de l'axe médian. Dans les cas extrêmes de renforcement, les contacts latéraux peuvent se rejoindre pour former un barrage occlusif et les constrictives peuvent se transformer en occlusives. Pour les fricatives labiales et labiodentales, la fente de l'orifice labial est plus étroite en parole renforcée.
- La latérale /l/ est produite en parole renforcée avec un élargissement du contact médian de la pointe de la langue sur le palais. La surface de contact tend alors à s'étaler plus vers l'arrière.
- Pour les voyelles, le renforcement de l'articulation provoque une augmentation de l'aperture orale par un abaissement du maxillaire et de la langue. Ceci est observé pour toutes les voyelles, fermées ou ouvertes. La figure 1.17 présente des tracés radiographiques et palatographiques de différentes voyelles prononcées énergiquement et avec une force normale. Sur les tracés palatographiques, il apparaît que l'abaissement de la langue provoque une diminution du contact linguopalatal. Pour les voyelles arrondies, Straka note qu'il n'y a pas "d'intensification de la labialité" (arrondissement ?, protrusion ?), mais une augmentation de l'aperture labiale comme pour les autres voyelles. La plus grande aperture aux lèvres peut être la conséquence de l'abaissement de la mâchoire. Les voyelles nasales comme les voyelles orales ont une position du velum plus haute. Ceci apparaît sur les tracés radiographiques de /i/ et /o/ de la figure 1.17. Ici encore Straka ne présente pas d'illustration de la position du velum pour une voyelle nasale.

Figure 1.15 : Articulation de /t/ prononcé énergiquement comparée à une prononciation normale (figure 10 de Straka 1963). Attention, le contexte vocalique n'est pas le même. A noter, la surface de l'occlusion linguale, l'élévation du maxillaire, de la langue et du velum plus grandes en prononciation renforcée.

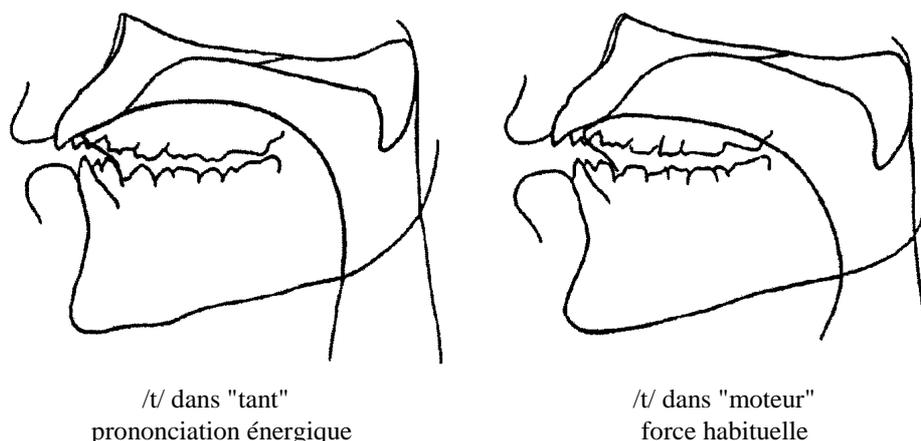
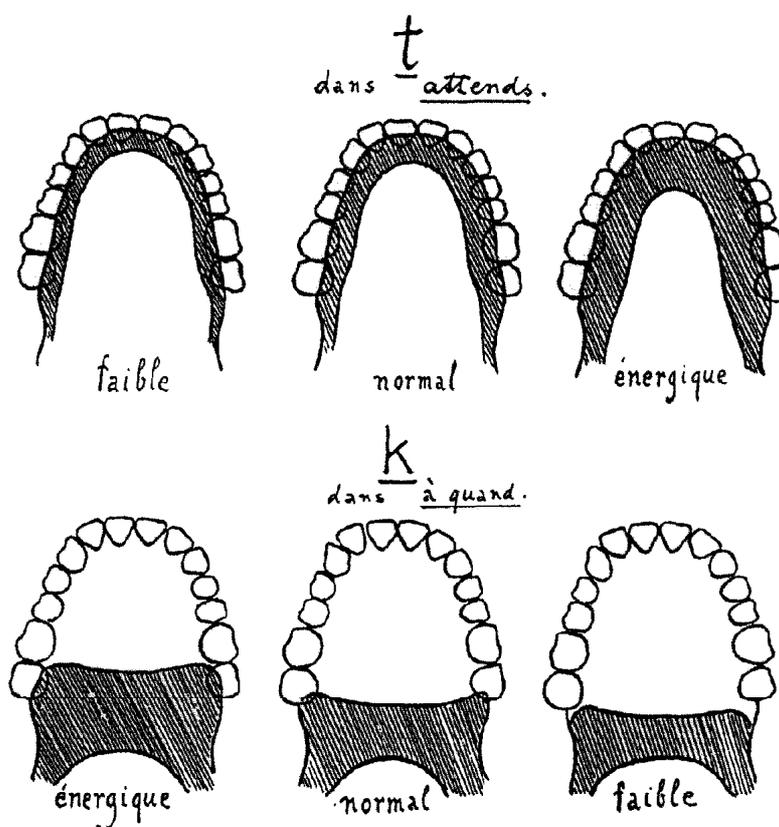


Figure 1.16 : Palatographies présentant la surface de contact de la langue sur le palais (zone achurée) pour les consonnes /t/ et /k/ prononcées avec différents degrés de force : faible, normal et énergique (figure 6 de Straka 1963). A noter, l'élargissement de la surface de l'occlusion vers l'arrière pour /t/ et vers l'avant pour /k/.



Nous avons constaté que les consonnes initiales, tout comme les consonnes "fortes" ou "renforcées", ont une élévation et une pression de la langue vers le palais plus grande. Les consonnes ont aussi une élévation plus importante du velum, qu'elles soient nasales ou non-nasales. Si l'on accepte la définition de Straka, un renforcement articuloire consiste en une *augmentation de la force de contraction des muscles entrant en action pour une articulation donnée* (Straka 1963:91). Nous allons voir comment cette augmentation de la contraction musculaire peut prédire ces variations :

- L'élévation de la langue pour les consonnes est due à la contraction des muscles élévateurs de la langue (genioglossus, palatoglossus, styloglossus) [Straka 1963, Lieberman & Blumstein 1988, UCLA 1990 ouvrage collectif]. Un renforcement articuloire en position initiale provoquerait une plus forte contraction de ces muscles et par conséquent une plus grande élévation de la langue. Pour les consonnes occlusives, la plus forte élévation de la langue se traduirait par une plus forte compression sur le palais et donc par un élargissement de la surface de contact.

- L'augmentation de la hauteur du voile du palais en position initiale peut aussi être expliquée par une augmentation de la contraction musculaire. Les variations dans la hauteur du velum sont fortement corrélées à l'activité du levator veli palatini [Bell-Berti & Hirose 1975, voir Bell-Berti 1993 pour une revue]. Lors de la fermeture du port vélopharyngé pour les segments non-nasals, la contraction du levator palatini tire le velum vers le haut et vers l'arrière. Cette action peut être accompagnée de la contraction du constricteur pharyngal supérieur, mais ceci n'est pas admis par tous. Le mécanisme gouvernant l'ouverture du port vélopharyngé pour les segments nasals est plus discuté. Alors que pour certains, cette ouverture est un mécanisme actif provoqué par l'action de plusieurs muscles abaisseurs [Lubker et al. 1970], pour la plupart des chercheurs, l'abaissement du velum est un mécanisme passif [cf. Bell-Berti 1993]. Pour ceux-ci, le velum est abaissé par la décontraction des muscles responsables de son élévation, donc du levator palatini. Accompagnant cette décontraction du levator palatini, une augmentation de l'activité du palatoglossus a été observée par certains [Fritzell 1969, Lubker et al. 1970] mais pas par d'autres [Bell-Berti 1973, 1976, Bell-Berti & Hirose 1973]. Si on admet que l'élévation et l'abaissement du voile du palais sont provoqués principalement par la contraction et la décontraction du levator palatini, respectivement, une augmentation de la force articuloire peut prédire les variations observées :

- pour les segments non-nasals, pour qui une contraction du levator palatini est toujours présente [Lieberman & Blumstein 1988], l'augmentation de la contraction provoquerait une élévation plus importante du velum

- pour les segments nasals, une augmentation de la force articuloire diminuerait la décontraction du levator palatini, et résulterait en un abaissement du velum moins important²². Cette hypothèse est partagée par Fujimura (1990) qui précise que, bien que le mécanisme physiologique du contrôle du velum dans la parole n'est pas parfaitement compris (p.201),

"muscles surrounding the soft palate may be more tense in initial position, resulting in somewhat higher velum position, in spite of the fact that the nasalization feature is characterized by a lowered velum position and should manifest maximally by a more (deeply) lowered position." [Fujimura 1990 : 233]

- Pour les voyelles, une augmentation de la force articuloire prédit des variations différentes en fonction des muscles considérés comme dominants dans l'articulation vocalique. Pour Straka, les muscles prépondérants sont les muscles abaisseurs de la langue :

"le mouvement articuloire des voyelles est essentiellement commandé par les contractions des hyo-glosses, muscles abaisseurs du corps de la langue, ainsi que par celles des muscles abaisseurs de la pointe de la langue." [Straka 1963 : 90]

Une augmentation de la constriction de ces muscles provoquerait donc un abaissement plus important de la langue. Ainsi, même les voyelles fermées seraient plus ouvertes sous l'effet d'un renforcement articuloire (ce qu'il observe en parole renforcée). Or, comme Straka le note, l'articulation des voyelles résulte aussi de

²² Chez Straka (1963) "l'abaissement du voile pour les articulations nasales est le résultat du relâchement des péristaphylins, voire des palato-staphylins (azygos de la luvette); leur contraction élève au contraire le voile et produit l'occlusion rhinopharyngale pour les articulations orales." (p.95). Les palato-staphylins (ou azygos de la luvette) chez Straka (ou Rousselot) semblent correspondre au levator veli palatini et les péristaphylins internes et externes semblent correspondre au tensor palatini. Pourtant même si les muscles considérés comme prépondérants sont différents, le mécanisme reste le même : l'élévation se fait par une contraction musculaire et l'abaissement par une décontraction musculaire.

l'activation de muscles élévateurs, comme par exemple le palatoglosse et le genioglosse pour les voyelles antérieures [UCLA 1990 ouvrage collectif]. Pour Straka, l'activité de ces muscles élévateurs est secondaire et elle n'est donc pas influencée par le renforcement articulaire :

"le renforcement articulaire ne porte que sur les muscles qui assument le travail essentiel, sur les élévateurs pour les consonnes, sur les abaisseurs pour les voyelles." [Straka 1963 : 92]

Au contraire, si dans la production des voyelles fermées, l'action des muscles élévateurs est considérée comme (au moins) aussi importante que celle des muscles abaisseurs, alors le renforcement articulaire aura un effet différent sur les voyelles fermées comparées aux voyelles ouvertes. Pour les voyelles fermées, la langue sera plus élevée si le renforcement affecte principalement les muscles élévateurs. Par contre, si le renforcement affecte au même degré les deux types de muscles antagonistes, la position de la langue peut ne pas être modifiée puisque le renforcement agira de façon égale dans les deux directions.

IV.D. Récapitulatif des variations articulatoires prédites par ces 3 hypothèses.

Les hypothèses d'augmentation du contraste de sonorité et de renforcement des traits distinctifs insistent sur *la fonction linguistique* des variations articulatoires : une mise en valeur soit du contraste syntagmatique (de sonorité) au sein de la syllabe, soit du contraste paradigmaticque entre les segments (traits distinctifs). Le renforcement articulaire, par contre, n'est pas considéré initialement comme un mécanisme fonctionnel du point de vue linguistique mais comme *un mécanisme moteur*. C'est un mécanisme physiologique qui agirait au niveau de l'encodage d'une position particulière : la position initiale. Cela n'exclut pas que les conséquences articulatoires de ce renforcement initial soient utilisées par la langue pour une fonction linguistique (p.ex. la résistance à la réduction vue en section III).

Le tableau I.2 met en parallèle les prévisions faites par ces trois hypothèses sur les variations articulatoires en position initiale. Seules sont présentées les variations pour l'articulation linguale et nasale. Celles-ci seront l'objet principal de mon étude. Dans la dernière colonne du tableau sont indiqués les segments sur lesquels je travaillerai.

- Les variations prédites par l'hypothèse d'augmentation du contraste de sonorité (H1) et l'hypothèse de renforcement articulaire telle qu'elle est formulée par Straka (H3) sont identiques. Comme nous l'avons vu sur la figure 1.14, Straka a montré que l'augmentation de la force articulaire renforce le contraste d'aperture entre consonnes et voyelles puisque les consonnes se ferment d'avantage et les voyelles s'ouvrent d'avantage. Ceci correspond à une augmentation du contraste de sonorité. Par contre, si l'on considère le rôle des muscles élévateurs dans la production des voyelles fermées (H4), ces deux hypothèses se distinguent quant à leur prédiction pour les mouvements de la langue pour ces voyelles. Dans mon étude, j'examinerai le comportement de la voyelle fermée /i/ en position initiale pour tester ces deux hypothèses. Rappelons ici que Lehiste (1964) présente des résultats acoustiques qui ne vont pas dans le sens de la prédiction de Straka mais dans le sens de H4 : les voyelles initiales sont plus périphériques en finnois.
- Les prédictions avancées par l'hypothèse de renforcement des traits distinctifs (H2) diffèrent principalement de celles de l'hypothèse de renforcement articulaire (H3) en ce qui concerne les mouvements du velum. Pour les segments nasals (voyelles et consonnes) le renforcement du trait de nasalité prédit un abaissement du velum, alors que le renforcement articulaire (H3) ou l'augmentation de tension initiale (H5) prédisent une élévation du velum. J'observerai le comportement du velum à partir de données aérodynamiques pour une consonne et une voyelle nasales. Pour les mouvements de la langue pour les voyelles fermées, l'hypothèse de renforcement des traits distinctifs (H2) prédit une plus grande élévation de la langue et s'oppose donc aux prédictions de l'hypothèse de sonorité (1) ou de renforcement telle qu'elle est proposée par Straka (H3).

Tableau I.2 : Variations articulatoires prédites par les différentes hypothèses pour la langue et le velum en fonction du type de segment. Sont présentées en (1) l'hypothèse d'augmentation de sonorité (et contraste CV) [Beckman et al. 1994] ; en (2) l'hypothèse de renforcement des traits distinctifs [DeJong 1995] ; en (3) l'hypothèse d'augmentation de la force articulatoire telle qu'elle a été formulée par Straka (1963) ; en (4) l'hypothèse d'augmentation de la force articulatoire prenant en compte l'action des muscles élévateurs dans la production des voyelles ; en (5) pour le vélum l'hypothèse de tension initiale (Vaissière 1986a, 1988). Les signes ↑ et ↓ notent une élévation et un abaissement de l'articulateur, respectivement. En grisé sont indiquées les prédictions contradictoires. Dans la dernière colonne sont présentés les segments qui seront étudiés dans cette thèse.

	langue				velum				
	1	2	3	4	1	2	3	5	
Occlusives									
orales	↑	↑	↑	↑		↑	↑	↑	/t/, /k/
nasales	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	/n/
latérales	↑	↑	↑	↑				↑	/l/
Fricatives	↑	↑	↑	↑				↑	/s/
Voyelles									
ouvertes	↓	↓	↓	↓			↑	↑	
fermées	↓	↑	↓	↑ =			↑	↑	/i/
nasales						↓	↑	↑	/A\$/

V. RESUME DES OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE CE TRAVAIL

Ce travail s'inscrit dans un cadre de recherche sur les interactions entre l'aspect suprasegmental et l'aspect segmental de la parole. En particulier, j'examine les relations entre les caractéristiques structurelles d'un énoncé (son organisation prosodique) et les caractéristiques, généralement traitées comme segmentales, des sons qui le composent (leur articulation).

J'observe dans cette thèse l'articulation de segments placés en position initiale dans plusieurs types de constituants. Je cherche à déterminer si les caractéristiques articulatoires de ces segments reflètent l'organisation prosodique de l'énoncé en constituants de différents niveaux hiérarchiques, tout comme le permettent les variations suprasegmentales d'intonation ou d'allongement final, par exemple.

Comme le note Beckman & Edwards,

"Speech is structured both by the grammatical functions of contrast and organization and by the physical medium for those functions, namely sounds as produced by the human vocal tract and perceived by the human ear. [...] Each is an external source of constraint and an explanation for facets of the other"
[Beckman & Edwards 1994 : 7, souligné par moi]

Ainsi, l'existence de variations segmentales en fonction de la structure suprasegmentale de l'énoncé montrerait, d'une part, qu'au niveau de la production, la structuration de la parole est marquée dans l'articulation des segments. Les variations articulatoires seraient alors un indice de l'organisation prosodique en signalant le début de chaque nouveau constituant. Savoir si ces variations sont informatives d'un point de vue perceptif restera à évaluer dans le futur, mais leur existence n'en sera pas moins la trace d'une planification de la structure prosodique lors de la production. D'autre part, si certaines variations segmentales peuvent être expliquées par des différences de position prosodique, celle-ci apparaîtra comme un facteur de variation à contrôler dans toute étude segmentale ou toute comparaison de données articulatoires.

Nous avons vu en introduction que l'articulation des segments peut varier en fonction de leur position prosodique dans plusieurs langues. Mon étude concernera le français. Comparé aux langues "à prééminence" ("stress languages") comme l'anglais, le français est considéré comme une langue "à démarcation" ("boundary language"), selon l'expression de Vaissière (1983, 1992), car *l'essentiel* des marques prosodiques est associé aux limites de constituants. Je pars donc de l'hypothèse qu'en français, le marquage des frontières entre constituants prosodiques est particulièrement important pour l'organisation prosodique. Des variations articulatoires aux frontières devraient donc être un phénomène d'autant plus régulier dans cette langue.

Certaines positions sont particulièrement importantes dans l'organisation prosodique d'un énoncé. Parmi celles-ci, la position initiale a un statut particulier car elle est une "position frontière" : elle marque le début d'un nouveau constituant prosodique et la frontière entre deux constituants. Je fais alors l'hypothèse que la position initiale est un *site prosodiquement encodé*. Nous avons vu que les variations articulatoires en position initiale ont été le plus souvent étudiées au niveau de constituants inférieurs comme la Syllabe et le Mot. Dans mon étude, je vérifierai que cet effet s'applique aussi à des constituants supérieurs au Mot en français.

Il paraît raisonnable de supposer qu'au niveau de l'encodage de l'énoncé, le niveau hiérarchique de ses constituants soit spécifié. Les variations articulatoires devraient donc dépendre du niveau prosodique du constituant. Je vérifierai donc que les caractéristiques articulatoires des segments initiaux en français varient graduellement en fonction de la hauteur du constituant dans la hiérarchie (et donc du poids de la frontière prosodique précédente), comme cela a été montré dans quelques autres langues. D'autre part, l'examen de plusieurs niveaux de constituants me permettra de déterminer quels constituants prosodiques sont marqués par une variation articulatoire sur leur segment initial en français.

Dans les études présentant une variation articulatoire en fonction de la position prosodique, il apparaît que les variations articulatoires ne sont pas toujours présentes et qu'elles varient en fonction des locuteurs. J'examinerai l'optionnalité de ce phénomène en observant les caractéristiques articulatoires de plusieurs types de segments

placés au début de 3 à 5 constituants prosodiques différents et sur plusieurs répétitions (10 à 20). Le nombre de locuteurs observés n'est pas très élevé (2 à 4) et dépend de la technique d'investigation articulatoire utilisée.

Enfin, je chercherai à établir en quoi consistent les variations segmentales conditionnées par la position prosodique. Les résultats présentés dans la littérature ne donnent qu'une information partielle du phénomène. En général, ces études se concentrent sur un articulateur particulier et sur un nombre restreint de types de segments. Ici, je tâcherai de mener une étude plus systématique de ces variations articulatoires en français :

- j'examinerai l'effet de la position prosodique sur plusieurs sous-systèmes articulatoires. Des variations d'articulation linguale seront étudiées à partir de données électropalatographiques. Des variations d'articulation nasale seront examinées indirectement à partir de données aérodynamiques (débit nasal). Des variations d'articulation glottale seront déduites de variations acoustiques comme la durée du VOT des consonnes sourdes et la fréquence de glottalisation de voyelles initiales. L'effet de la position prosodique sera également observé sur quelques paramètres acoustiques : la durée acoustique des segments initiaux et l'énergie acoustique des consonnes sonores.
- j'essayerai de mieux comprendre la nature de l'influence de la position prosodique en comparant son effet sur les caractéristiques articulatoires de plusieurs types de segments de lieu et mode d'articulation variables. Ces segments représentent les grandes classes de sons du français : des occlusives antérieures et postérieures, orales et nasales, une liquide, une fricative et des voyelles. Dans la littérature, les variations articulatoires en fonction de la position dans un constituant ont été le plus souvent décrites pour des occlusives. Je vérifierai donc que ce phénomène affecte aussi des segments d'aperture plus grande.
- d'autre part, je tâcherai de définir l'étendue du domaine de réalisation des variations articulatoires (i.e. du site de variation) en comparant l'effet de la position prosodique sur un segment initial absolu (C de CV ou V de VC) et sur une unité initiale (un groupe de consonnes CC initial et une syllabe CV initiale). Ainsi, je chercherai à savoir si l'influence de la position prosodique s'étend au delà du segment initial sur le deuxième membre de l'unité initiale ou si elle est restreinte à l'attaque du constituant.
- finalement, j'observerai l'effet de la position prosodique sur les caractéristiques, non seulement spatiales mais aussi temporelles, de la production des segments. J'étudierai aussi son effet sur le chevauchement et la coordination temporelle inter et intra-gestes.

Nous avons vu que les caractéristiques articulatoires des segments initiaux observées par plusieurs auteurs se rapprochent de celles des segments décrits comme "fort" ou "renforcés". Par exemple, Fujimura écrit :

"Syllable initial position, as well as word and phrase initial position, seems to be generally characterized by more 'forceful' articulatory gestures (...)." [Fujimura 1990 : 232]

Je chercherai donc à voir si les variations articulatoires que j'observe en fonction de la position prosodique en français confirment l'hypothèse d'un renforcement articulatoire (1) *local* en position initiale et (2) *graduel* en fonction du niveau prosodique du constituant.

CHAPITRE II : MÉTHODE

Ce travail s'articule autour de deux types de données articulatoires : des débits d'air nasal et des données électropalatographiques (EPG). Ces deux techniques d'investigation articulatoire ont été utilisées séparément lors d'expériences successives. Dans ce chapitre, je présenterai ces techniques et le détail de chaque expérience dans la section II pour les expériences de débit d'air et dans la section III pour les expériences d'EPG. En fonction des segments test examinés et du type de données articulatoires, nous verrons que le nombre de positions prosodiques étudiées et la structure des phrases cadres diffèrent légèrement. Toutefois, la méthode générale utilisée pour obtenir les différentes positions prosodiques est toujours la même. Ainsi, pour faciliter la compréhension de cette méthode, je présenterai en premier lieu (section I) les positions prosodiques étudiées, avec comme exemple un corpus conçu pour le segment test /n/.

I. LES DIFFÉRENTES POSITIONS PROSODIQUES ÉTUDIÉES

L'objectif de cette étude est de vérifier si l'articulation d'un segment est affectée par sa position prosodique en français. Plus particulièrement, je m'intéresse à l'influence de la position prosodique sur des segments placés au début d'un constituant, juste après la frontière prosodique. Je pars de l'hypothèse que ces segments initiaux sont marqués sur le plan articulatoire et que leurs caractéristiques articulatoires vont contribuer à différencier les débuts de constituants à différents niveaux prosodiques. Pour tester cette hypothèse j'observe l'articulation de segments placés dans des phrases cadres à cinq positions prosodiques différentes ²³:

- au début d'une Phrase : position Pi
- au début d'un Groupe Intonatif : position GIi
- au début d'un Groupe Accentuel : position GAi
- au début d'un Mot lexical : position Mi
- au début d'une Syllabe : position Si

Le tableau II.1 présente les phrases cadres conçues pour placer la consonne /n/ dans ces cinq positions. La figure 2.1 donne la structuration prosodique de ces phrases, telle qu'elle a été vérifiée à postériori. Le groupement des mots après le segment test peut varier mais la structuration avant et au niveau du segment test devra correspondre à ces arbres pour être considérée comme appropriée pour la position prosodique en question.

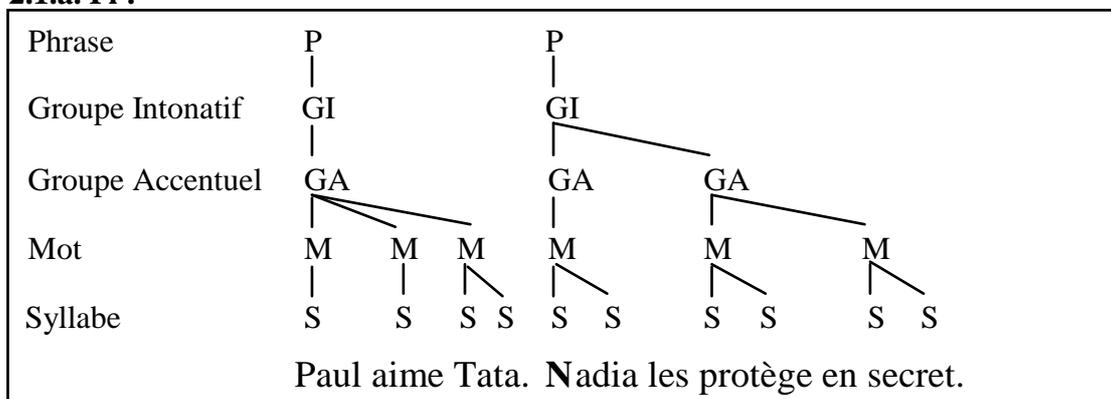
Tableau II.1 : Exemple des phrases conçues pour la consonne /n/ dans la séquence [ana], de la position prosodique la plus haute à la position la plus basse :

Position	Phrases cadres pour /n/
Pi	Paul aime Tata. N adia les protège en secret.
GIi	La pauvre Tata, N adia et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, N adia et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata- N adia arriveront demain matin.
Si	Tonton et A nabelle arriveront demain matin.

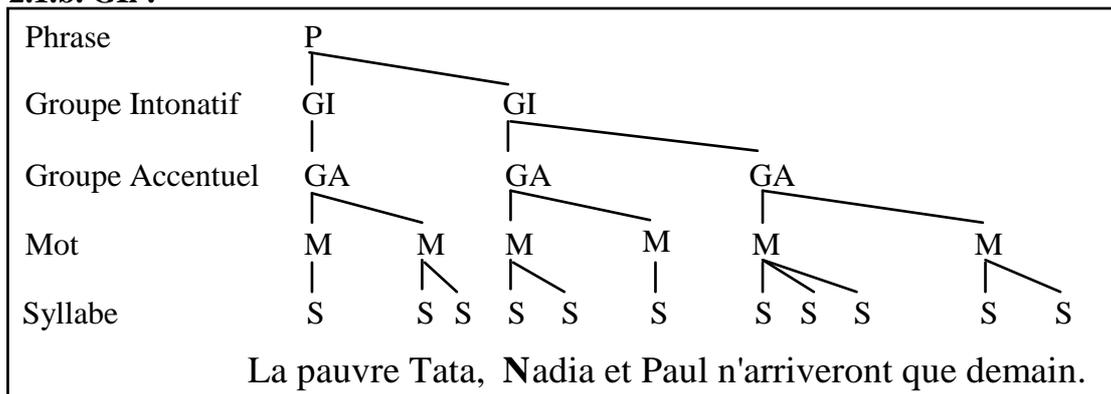
²³ Les codes utilisés pour les positions prosodiques utilisent les initiales du constituant (ex. "P" pour "Phrase", "GI" pour "Groupe Intonatif") et la lettre "i" pour "position initial". Ainsi "Pi" signifie "position initiale dans une Phrase".

Figure 2.1 : Structure prosodique des phrases conçues pour le segment test /n/ aux cinq positions prosodiques étudiées (a) position initiale dans une phrase Pi, (b) position initiale dans un Groupe Intonatif GI, (c) position initiale dans un Groupe Accentuel GAi, (d) position initiale dans un Mot Mi, (e) position initiale dans une Syllabe Si. Les constituants sont listés sur la gauche de chaque arbre, du constituant le plus haut au constituant le plus bas. Les arbres présentés ne sont qu'une des structurations prosodiques possibles de ces phrases. Dans les productions analysés dans cette étude, les segments tests apparaissent dans une structure de ce type.

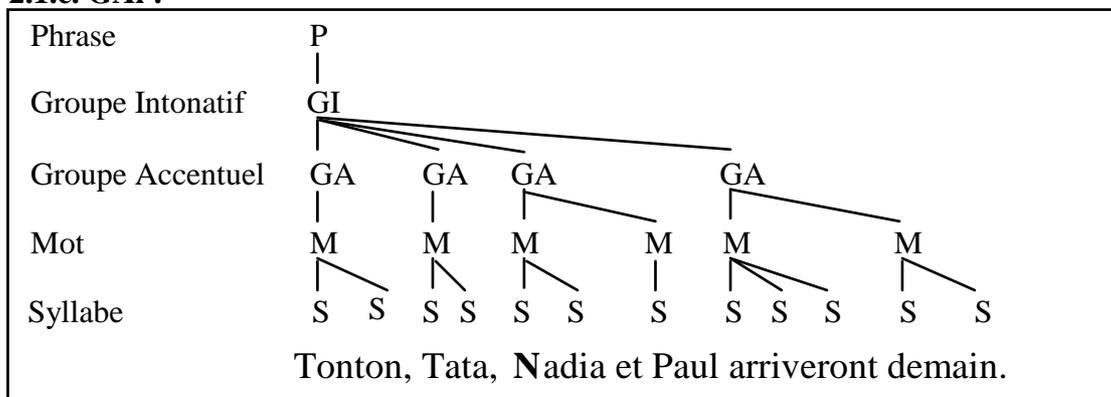
2.1.a. Pi :



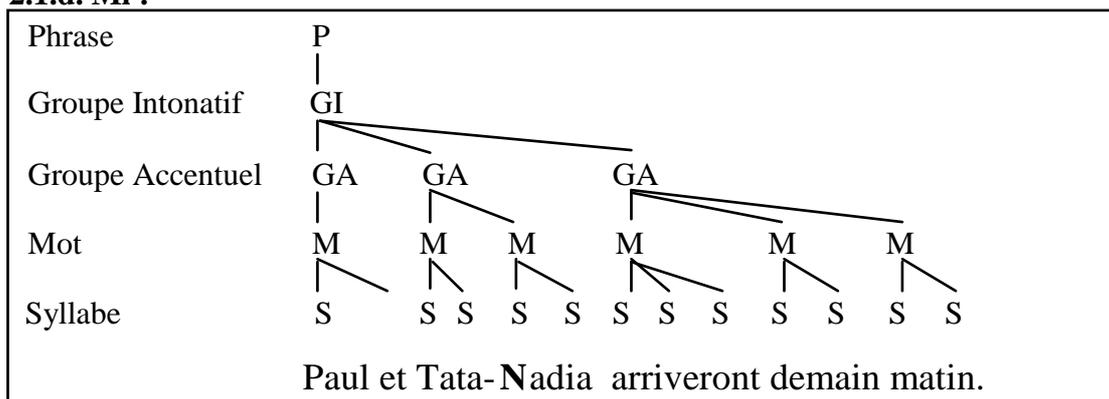
2.1.b. GIi :



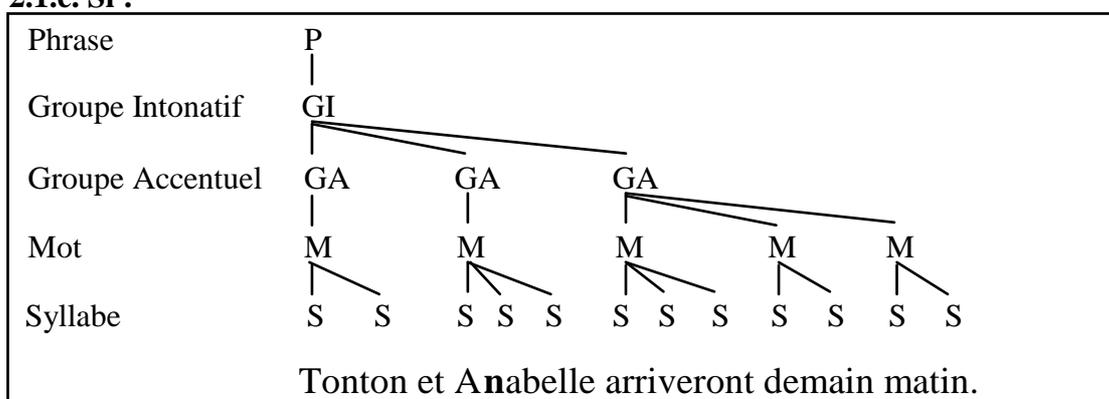
2.1.c. GAi :



2.1.d. Mi :



2.1.e. Si :



Dans cette étude, je parle de la position initiale dans ces constituants que je suppose être organisés hiérarchiquement de la façon suivante : de la position la plus haute à la position la plus basse, $P > GI > GA > M > S$. Il faut garder à l'esprit que la hauteur d'un constituant dans cette hiérarchie correspond aussi *au niveau de la frontière prosodique* qui précède le constituant en question. Ainsi, un segment initial dans un constituant supérieur (ex. GI) est précédé par une frontière prosodique plus importante qu'un constituant initial dans un constituant inférieur (ex. Mi).

I.A. Notes préliminaires

A.1. Des constituants définis arbitrairement

Avant de présenter plus en détail les constituants, il faut préciser que ces cinq constituants ne correspondent pas forcément à des niveaux prosodiques établis dans la littérature. Ce sont les constituants d'une hiérarchie que je définis préliminairement. Je n'assume pas qu'ils représentent *tous* les constituants prosodiques du français, ni qu'ils appartiennent *tous* à la Hiérarchie Prosodique du français, ni qu'ils sont *tous* des constituants prosodiques (vs. syntaxiques ou morphologiques). En effet, cette thèse n'a pas pour objectif de faire un inventaire exhaustif des constituants prosodiques du français, ni d'examiner tous les constituants qui ont pu être proposés dans les différents modèles de la Hiérarchie Prosodique. D'autre part, c'est à la lumière des résultats, que j'essaierai de définir, à partir de leurs propriétés articulatoires, quels constituants peuvent être définis comme appartenant à la hiérarchie prosodique du français.

Ainsi, jusqu'à preuve du contraire, je qualifierai ces constituants de "constituants prosodiques" car ceux-ci sont définis par les critères prosodiques que nous allons voir. Cependant, puisque je me sers de la structure

morpho-syntaxique des phrases cadres pour obtenir de la part des locuteurs la structure prosodique voulue, ces constituants correspondent aussi à des *constituants syntaxiques* particuliers.

A.2. Position prosodique vs. position sérielle

Il faut distinguer la position prosodique de la *position sérielle, ou position linéaire*, dans la phrase. En Introduction (section IIB.5), j'ai présenté des études montrant qu'il peut y avoir une déclinaison articulatoire du début à la fin d'une phrase. L'articulation d'un segment peut donc être affectée par sa position sérielle dans la phrase (p. ex. 2ème syllabe vs. 8ème syllabe à partir du début). Dans la plus grande partie de mes corpora, le segment test est toujours placé dans la 5ème syllabe de la phrase, de façon à contrôler un éventuel effet de déclinaison articulatoire. La position prosodique du segment va donc changer d'une phrase à l'autre (p. ex. GIi vs. Mi) mais sa position sérielle reste la même (5ème syllabe). Dans deux des premiers corpora conçus pour l'expérience de débit nasal, je n'ai pas contrôlé la position sérielle du segment test. Sa position dans la phrase varie parallèlement à sa position prosodique. Une comparaison avec un autre corpus dans lequel la position sérielle a été contrôlée me permettra d'évaluer l'influence qu'a pu avoir la variation de position sérielle sur les résultats.

A.3. Une comparaison paradigmatique entre positions initiales à différents niveaux prosodiques, mais aussi entre position initiale et médiane

Afin d'examiner l'influence de la position prosodique sur l'articulation du segment, *seule la position hiérarchique la plus haute doit être considérée*. Par exemple, dans la figure 2.1b, le /n/ de "Nadia" est en fait au milieu d'une Phrase, au début d'un Groupe Intonatif, au début d'un Groupe Accentuel, au début d'un Mot, et au début d'une Syllabe. Or, je considérerai que sa position est "initial de Groupe Intonatif (GIi)" pour pouvoir le comparer avec un /n/ placé en début de Groupe Accentuel, mais qui n'est pas *aussi* au début d'un Groupe Intonatif (ex. figure 2.1c). Dans la figure 2.1d, le /n/ de "Nadia" est au milieu d'une Phrase, au milieu d'un Groupe Intonatif, au milieu d'un Groupe Accentuel, au début d'un Mot, et au début d'une Syllabe. Puisque je ne considère que le constituant le plus haut dans lequel le segment est initial, sa position prosodique est "initial de Mot (Mi)".

Il faut garder à l'esprit que le début d'un constituant correspond au milieu d'un constituant de niveau supérieur. Ainsi, une variation articulatoire entre, par exemple, un segment en début de Groupe Accentuel et un segment au début de Mot peut être interprétée comme une différence entre les positions initiales de deux constituants différents. Elle peut aussi être interprétée comme une *différence entre position initiale et position médiane* dans un GA puisque le segment en début de Mot est aussi en position médiane dans un GA.

Dans cette étude, je préfère décrire les résultats en ne parlant que de comparaison entre positions initiales à différents niveaux. Parler de différences entre position initiale et position médiane ne me semble pas approprié puisque je ne considère qu'une seule des positions médianes au sein d'un constituant : celle qui est aussi le début du constituant inférieur. Je n'observe donc pas toutes les positions médianes dans le constituant pour les comparer à la position initiale. Dans notre étude sur l'anglais [Fougeron & Keating 1997], nous avons choisi un corpus en parole réitérée de façon à pouvoir faire une comparaison syntagmatique entre toutes les positions au sein d'un constituant. Avec un corpus en parole naturelle (non-réitérée), l'examen de toutes les positions (initiale, médianes et finale) dans chaque constituant nécessiterait un nombre de phrases beaucoup plus important. Dans mon corpus, de façon à contrôler le contexte segmental et la position sérielle, je n'ai *qu'un segment test par phrase* et j'effectue une *comparaison paradigmatique* des positions entre des phrases différentes.

I.B. Critères de codage prosodique

Le découpage prosodique d'une phrase comme celui présenté dans la figure 2.1b, par exemple, n'est qu'un des phrasés possibles pour cet énoncé. Dans le corpus utilisé, les phrases cadres sont conçues pour obtenir un phrasé particulier dans lequel le segment test est placé à la position prosodique souhaitée. J'ai fait varier dans ces

phrases la ponctuation, la structure syntaxique, le statut morphologique des éléments pour inciter les locuteurs à produire ces types de phrases. Ainsi, les phrases cadres utilisées se distinguent à l'écrit par :

- *la ponctuation ou la marque typographique de frontière* : la position Pi est précédée d'un point ; les positions GIi et GAi sont précédées d'une virgule ; la position Mi est précédée d'un tiret ; la position Si n'est précédée d'aucune marque typographique la séparant de la syllabe précédente.
- *le statut syntaxique* : en position Pi, GIi, le segment test est au début du Syntagme Nominal (SN) sujet ; en position GAi, le segment test est au début d'un SN qui est le 3ème SN du sujet ; en position Mi et Si, le segment test est au milieu d'un SN.
- *le statut morphologique* : en position Pi, GIi et GAi, le segment test est au début d'un mot lexical ; en position Mi, le segment test est au début d'un mot lexical qui est le 2ème élément d'un mot composé ; en position Si, le segment test est au début d'une syllabe médiane dans un mot lexical.

Comme nous l'avons vu en Introduction, contrairement à la structure syntaxique qui est fixe, la structure prosodique d'une phrase peut varier d'une répétition à l'autre ou d'un locuteur à l'autre. Il est donc nécessaire de vérifier le découpage prosodique des énoncés produits par les locuteurs. Pour cela, les positions prosodiques dans les productions des locuteurs ont été codées à posteriori. Ce codage est effectué d'après les trois paramètres suivants :

- la présence/absence de pause
- le degré d'allongement final de la voyelle précédant le segment test
- le type de contour intonatif des phrases

B.1. Notes sur le codage prosodique

Vu l'importance du corpus, je n'ai transcrit les contours intonatifs que d'un échantillon de phrases représentant un peu plus de la moitié du corpus total : les corpora pour le segment test /n/ et pour le segment /i/ produits par les deux locuteurs lors de l'expérience de palatographie, ainsi que les corpora pour le segment test /n/ produit par les 4 locuteurs lors de l'expérience de débit d'air. Soit un total de 930 phrases sur 1690²⁴. Je n'ai trouvé que très peu de variations dans les contours de f0 produits par chaque locuteur pour chaque type de phrases dans cet échantillon. S'il y avait des variations, elles se situaient sur la partie finale de la phrase, après le mot portant le segment test. Pour le reste des phrases du corpus, le contour intonatif n'a été vérifié qu'à l'oreille, le codage prosodique repose donc principalement sur les critères de pause et d'allongement.

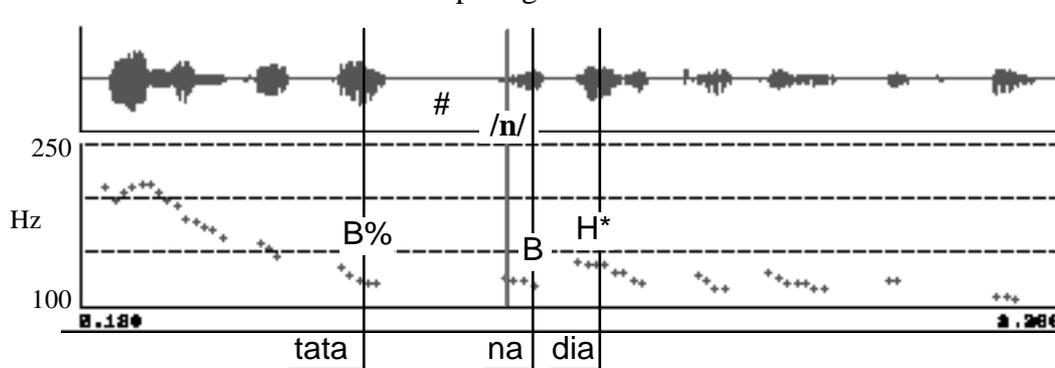
Le codage intonatif des courbes de f0 suit le modèle de transcription développé pour l'anglais par Pierrehumbert (1980) et adapté pour le français par Jun et Fougeron (1995, 1998). Ce modèle est un modèle phonologique de l'intonation dans lequel seuls les événements tonals pertinents sont transcrits : un ton est assigné aux points où la courbe de f0 change de direction ("turning points") et le contour de f0 se fait par interpolation entre ces points. En français, nous ne considérons que deux types de ton : un ton haut (H) et un ton bas (B). Suivant la fonction de ces tons, différents diacritiques leurs sont attachés : le signe "%" marque un ton de frontière majeure (de Groupe Intonatif) qui est réalisé sur la dernière syllabe du groupe; le signe "*" marque le ton démarcatif de Groupe Accentuel qui correspond à, et est réalisé sur, la syllabe accentuée finale du groupe (accent final). Le ton haut de l'accent initial est noté par le signe "Hi". La figure 2.2 présente pour chaque type de phrase un exemple caractéristique du contour intonatif avec ce type de transcription sur la séquence test aux différentes positions prosodiques.

Dans cette étude je ne souhaite pas discuter de la validité de ce modèle. Il est utilisé uniquement pour sa simplicité de transcription et de codage (tons H et B, diacritiques * et %). Pour plus de clarté, je décrirai les contours intonatifs également avec les termes de "continuation mineure, majeure, contour final" (cf Delattre 1966).

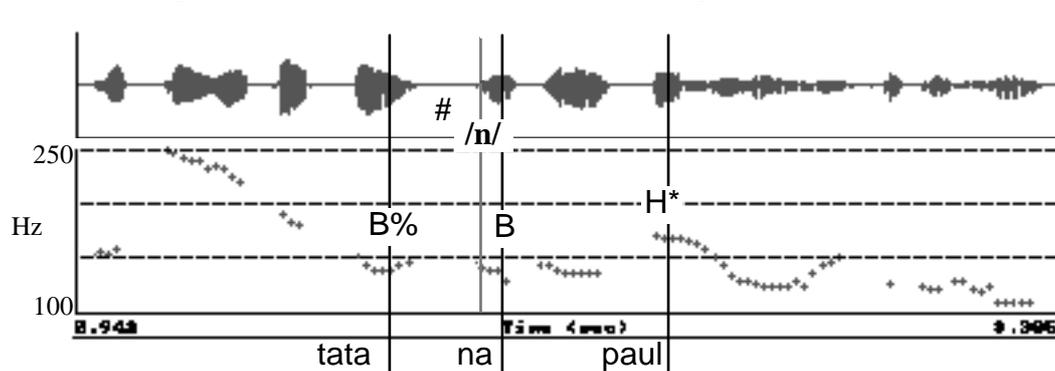
²⁴ Les contours intonatifs de (20 répétitions /n/ * 5 positions * 2 locuteurs) + (15 /i/ * 3 positions * 2 locuteurs) + (20 /ana/ * 4 positions * 4 locuteurs) + (20 /ini/ * 4 positions * 4 locuteurs) = 930 répétitions ont été transcrits. Les contours intonatifs des phrases avec les segments tests /t, k, s, l, kl/ produites par les deux locuteurs pour l'expérience EPG et ceux du corpus avec /ã/ produit par les 4 locuteurs n'ont pas été transcrits (soit 760 répétitions).

Figure 2.2 a, b, c, d, e : Exemples de contour de f_0 pour les phrases du corpus avec les segments tests /n/ produits par le locuteur 2M dans l'expérience EPG. (#) = pause. Les lignes verticales présentent les points de mesure de f_0 (milieu de la voyelle de la syllabe) et indiquent la position du segment test /n/. Voir le texte pour l'explication des symboles de codage intonatif.

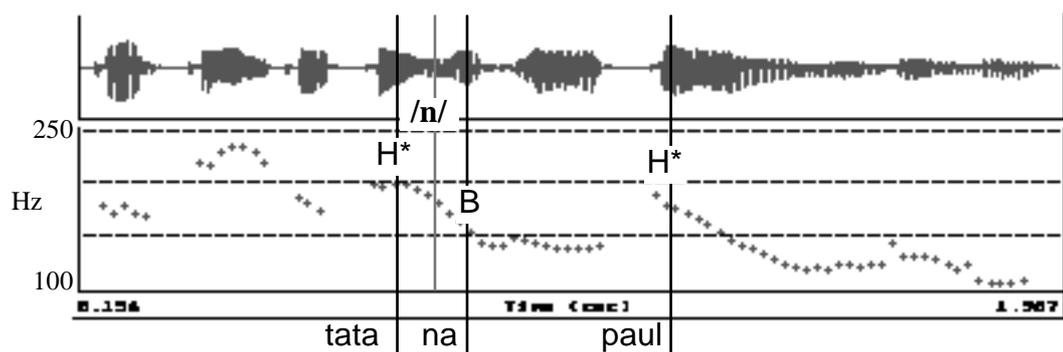
2.2.a. Pi : Paul aime Tata. Nadia les protège en secret.



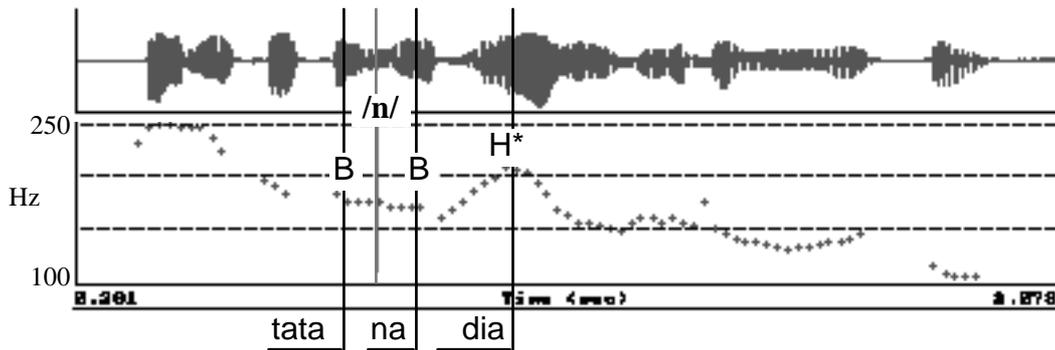
2.2.b. GIi : La pauvre Tata, Nadia et Paul n'arriveront que demain.



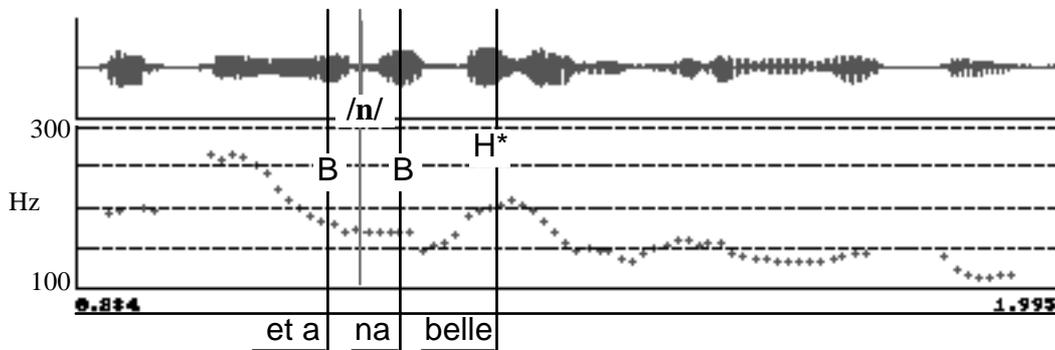
2.2.c. GAi : Tonton, Tata, Nadia et Paul arriveront demain.



2.2.d. Mi : Paul et Tata-Nadia arriveront demain matin.



2.2.e. Si : Tonton et Anabelle arriveront demain matin.



B.2. Notes sur les mesures de l'allongement de V1 et de la durée de la pause

Le degré d'allongement final de la voyelle précédant le segment test (V1) est mesuré entre l'apparition et la disparition d'une périodicité ample sur le signal acoustique correspondant à la présence de formants vocaliques sur le spectrogramme. Pour la position "début de Syllabe Si", V1 est précédée de la voyelle /e/ (p. ex. "... et Anabelle..."). La frontière entre les deux voyelles n'apparaissant pas clairement sur le signal, la durée de V1 pour ces phrases n'a pas été mesurée (la distinction entre Si et autres positions repose sur d'autres critères). La figure 2.3a présente les durées moyennes de la voyelle /a/ de "Tata_a" et /i/ de "Tat_ie" précédant le segment test /n/ en positions Mi, GAi, GIi et Pi. Il apparaît que la durée de ces voyelles (V1) augmente progressivement de la position Mi à GAi puis à Pi-GIi.

La durée de la pause précédant les segments test en position Pi et GIi a été calculée entre la fin de V1 et le début du voisement pour les consonnes voisées. Pour la consonne sourde /k/, la durée de la pause inclut la durée de l'occlusion de la consonne et est calculée entre la fin de V1 et le bruit de relâchement de l'occlusion. Pour les voyelles /A\$/ et /i/, la durée de la pause est calculée entre le bruit de relâchement de la consonne précédente (/k/ ou /p/) et l'apparition du voisement et des formants de la voyelle. Les durées moyennes de la pause précédant les segments test /n/ et /s/ dans les positions GIi et Pi sont présentées dans la figure 2.3b.

Figure 2.3a : Illustration des différences d'allongement de la voyelle précédant les segments tests en position Mi, GAi, GIi et Pi. Durées moyennes de la voyelle /a/ précédant la consonne /n/ dans le corpus de l'expérience EPG produit par les locuteurs 1F et 2M. Durées moyennes de la voyelle /i/ précédant la consonne /n/ dans le corpus n°1 de l'expérience de débit d'air produit par les 4 locuteurs. A noter, l'augmentation de la durée de V1 entre les positions Mi, GAi et GIi-Pi.

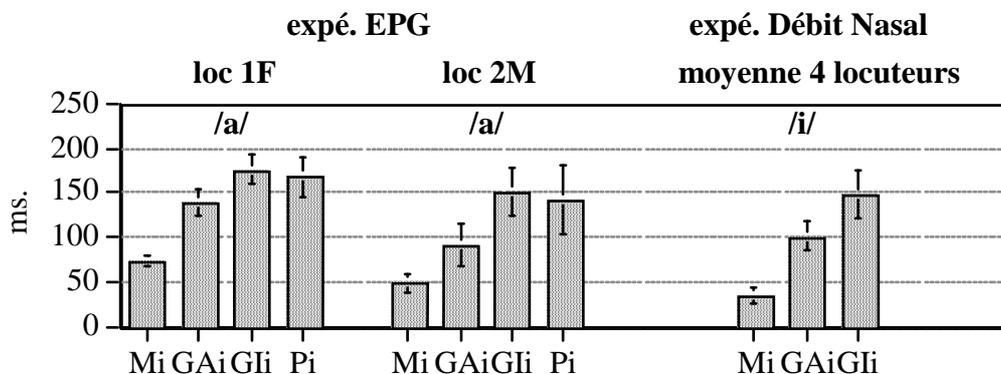
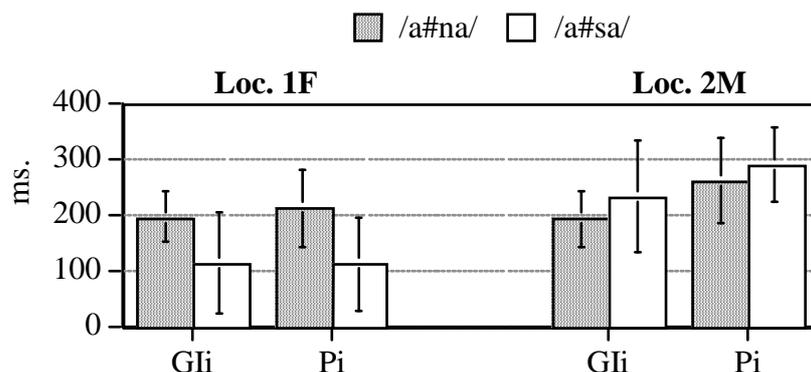


Figure 2.3b : Durée moyenne de la pause précédant les segments tests /n/ (en gris) et /s/ (en blanc) dans les positions GIi et Pi produites par les locuteurs 1F et 2M de l'expérience EPG. A noter, la petite augmentation de la durée de la pause en position Pi pour le locuteur 2M et similitude entre les deux positions pour le locuteur 1F.



I.C. Définition et caractéristiques des cinq positions prosodiques examinées

Nous allons voir dans cette section quels critères prosodiques définissent les cinq positions prosodiques examinées, c'est à dire les critères qu'une position prosodique doit satisfaire pour être codée comme étant la position prosodique en question.

C.1. La Phrase (P)

Dans le corpus utilisé, la position début de Phrase (Pi) est obtenue dans une séquence du type :

"Paul aime Tata. Nadia les protège en secret."

Les deux Phrases "Paul aime Tata." et "Nadia les protège en secret." sont séparées à l'écrit par un point, et le segment test /n/ est placé au début de la deuxième Phrase. A l'oral, les deux Phrases sont séparées par une pause (figure 2.3b). Le contour intonatif sur la première phrase est un contour descendant final qui se termine par une large excursion de f0. D'après le codage prosodique adopté, cette Phrase est délimité par un ton de frontière bas (B%), comme le montre la figure 2.2a. La voyelle finale, pré-pausale, est fortement allongée (figure 2.3a).

Ces deux phrases sont courtes, elles sont en relation sémantique et syntaxique étroite. Ce lien est illustré principalement par la présence, dans la seconde phrase, du pronom "les" dont le référent est dans la phrase précédente. Selon la définition de Nespor et Vogel (1986), ces deux Phrases forment un seul Énoncé. L'Énoncé

est un des constituants prosodiques le moins clairement défini dans la littérature et n'est admis que par certains [Nespor & Vogel 1986, Hayes 1989]. Selon une approche intonative de la Hiérarchie Prosodique, ces deux Phrases forment deux Groupes Intonatifs. Pour un modèle qui fait la différence entre un Groupe Intonatif Majeur (Full IP) et un Groupe Intonatif plus petit [p. ex. Ladd 1986, Di Cristo & Hirst 1996, cf. Sabio 1996], ces Phrases forment deux Groupes Intonatif Majeurs. Ces Phrases constituent également des "Unité de sens" ("Sense Group", Vaissière 1974, 1975) mais pas forcément des "Breath Group" car la pause n'est pas toujours une pause respiratoire²⁵. Pour l'instant, je considère la Phrase comme un constituant à partir de son statut syntaxique et "orthographique" (marqué par un point). Je comparerai cette position "début de Phrase" à la position "début de Groupe Intonatif" pour quelques segments test. L'examen des variations articulatoires dans ce groupe montrera si une consonne en début de Phrase a un statut particulier.

En résumé, un segment test en position "début de Phrase" est précédé par une longue pause, un fort allongement final de la voyelle précédente et un ton de frontière majeure bas (B%).

C.2. Le Groupe Intonatif (GI)

Le Groupe Intonatif (Intonational Phrase) est le plus haut des constituants prosodiques définis par l'intonation. Il est le domaine de réalisation d'un contour intonatif complet (tune) et est terminé par un ton de frontière majeure (boundary tone) [Pierrehumbert 1980, Beckman & Pierrehumbert 1986, Sabio 1996]. Selon Ladd (1986), le GI est l'unité phonologique la plus grande avec des frontières phonétiquement identifiables. Dans les descriptions de l'intonation du français, ce constituant correspond à "l'intonème majeur" de Rossi (1985), "Intonation Group" de Mertens (1993), "l'Unité Intonative" de Hirst & Di Cristo (1984), aux patrons P1 (pour les GI non finaux) et P4 de Vaissière (1974, 1975).

Dans les corpora utilisés, la position début de Groupe Intonatif (GI) est obtenue dans une séquence du type :

"La pauvre Tata, Nadia et Paul n'arriveront que demain. "

Le contour de f0 donné en figure 2.2b montre un contour final descendant (B%) sur le premier Groupe Intonatif "La pauvre Tata". Dans quelques cas (principalement pour le locuteur 4F), ce groupe est délimité par un ton de frontière haut (H%) réalisé sur la dernière syllabe, il correspond alors à une montée de continuation majeure. Le Groupe Intonatif est aussi délimité à droite par un fort allongement pré-pausal (figure 2.3a) et une pause (figure 2.3b). La pause peut être similaire à celle précédant le segment test en position Pi (loc. 1F, figure 2.3b) ou inférieure à celle-ci (loc. 2M, figure 2.3b).

Dans un modèle qui admet qu'un Groupe Intonatif Majeur (Full IP) soit divisé ou combiné en des constituants intonatifs de même niveau (modèles récursifs de Ladd 1986, Di Cristo & Hirst 1996), il est possible d'analyser la phrase ci-dessus en un seul Groupe Intonatif constitué d'un Groupe Intonatif complet "Nadia et Paul n'arriveront que demain" qui est précédé par un Groupe Intonatif incomplet ou "segment d'Unité Intonative" : "La pauvre Tata" [Di Cristo & Hirst 1996]

En résumé, un segment test en position "début de Groupe Intonatif" est précédé par une pause, un fort allongement final de la voyelle précédente et un ton de frontière majeure bas (L%) ou haut (H%).

C.3. Le Groupe Accentuel (GA)

Le Groupe Accentuel (Accentual Phrase) est considéré dans notre modèle [Jun & Fougeron, 1995, 1998] comme le plus bas des constituants prosodiques définis par l'intonation en français. Ce groupe peut comprendre un ou plusieurs mots et est délimité à droite par l'accent de groupe (accent final).

Ce constituant n'est pas nouveau et a été proposé par d'autres pour le français. Il correspond au "Mot Prosodique" de Vaissière (1992), aux patrons P2, P3 et P1 (sans pause) de Vaissière (1975), à "l'Intonème Mineur" de Rossi (1985), au "Groupe Accentuel" de Hirst et Di Cristo (1984) ou de Mertens (1993). Le Groupe Accentuel n'est pas isomorphe avec l'Unité Rythmique, ni avec l'Unité Tonale de Hirst et Di Cristo (1996, cf. Sabio 1996 pour une comparaison de ces constituants). Le Groupe Accentuel est défini selon des critères purement prosodiques (intonatifs et temporels pour le français), il est donc difficile de le comparer au Syntagme

²⁵Les données aérodynamiques montrent que pour certaines répétitions le locuteur expire pendant la pause, mais il est très rare que celui-ci inspire pendant la pause.

Phonologique (Phonological Phrase) ou au Groupe Clitique qui sont définis selon des critères syntaxiques. Pourtant, il apparaît être plus proche du Syntagme Phonologique.

En français, nous avons décrit [Jun & Fougeron 1995, 1998] le Groupe Accentuel avec un patron tonal sous-jacent bas-haut-bas-haut : /B Hi B H*/. Le premier ton haut (Hi) correspond à l'accent initial (secondaire) et est optionnel. Lorsque l'accent initial n'est pas réalisé, le Groupe Accentuel apparaît en surface comme une suite /B B H*/ (ou /BH*/ pour un bisyllabique). Le second ton haut (H*) correspond à l'accent final (primaire) du groupe. Ce dernier ton haut H* (ou la montée finale BH*) est démarcatif en français et correspond à la montée de continuation mineure de Delattre (1966). La définition de ce groupe prosodique est basée sur la cohésion temporelle qui existe à l'intérieur du Groupe Accentuel, mais pas entre deux groupes. Au sein du GA, la durée de la descente de f0 entre le ton haut initial Hi et le ton bas suivant dépend du nombre de syllabes comprises dans le Groupe Accentuel. Par contre, la durée de la descente de f0 suivant le ton frontière final H* est abrupte et fixe [Jun & Fougeron 1995]. Le Groupe Accentuel est également défini par un allongement final moyen de sa syllabe finale [voir aussi Padeloup 1990].

Dans le corpus, la position "début de Groupe Accentuel" est obtenue dans une séquence du type :

"Tonton, Tata, Nadia et Paul arriveront demain. "

Dans ces phrases, "Tonton", "Tata", "Nadia et Paul" forment trois Groupes Accentuels qui sont marqués chacun par une montée de continuation mineure sur leur syllabe finale (voir figure 2.2c).

Le segment test /n/ placé au début du Groupe Accentuel "Nadia et Paul" est donc précédé par une montée de continuation mineure (accent de groupe H* sur la figure 2.2c) sur la dernière syllabe de "Tata". La voyelle précédente a un allongement final moyen (moins important qu'en fin de GI mais plus important qu'en fin de Mot) qui apparaît sur la figure 2.3a. Il faut insister sur le fait que le segment en position GAI n'est pas précédé d'une pause. Les répétitions ayant un très bref intervalle de silence avant le segment test n'ont pas été considérées comme étant en position GAI.

Dans le corpus, le début de Groupe Accentuel et le début de Mot est toujours un prénom, il n'est donc jamais précédé d'un article ou d'un mot grammatical. Les résultats que je présenterai ne concernent donc que les Mots Lexicaux. Il sera intéressant de voir si les mots grammaticaux subissent eux aussi une variation articulatoire en début de constituant, et cela constituera un de mes projets de recherches.

C.4. Le Mot lexical (M)

Le Mot Lexical n'est pas un constituant intonatif. Il est défini uniquement selon des critères lexicaux et/ou morphologiques. Par définition, un Mot peut former un Groupe Accentuel à lui seul ou être inclus dans un Groupe Accentuel plus large. Dans ce corpus, je ne considère que le cas où le Mot est au milieu d'un Groupe Accentuel. Les phrases utilisées sont du type :

"Paul et Tata-Nadia arriveront demain matin."

Pour inciter les locuteurs à grouper les mots "Tata" et "Nadia" en un seul Groupe Accentuel, j'ai lié ces mots par un tiret ("Tata-Nadia") comme pour un nom composé.

La figure 2.2d donne un exemple de contour intonatif de cette phrase. La séquence "Tata-Nadia" présente un contour de f0 bas sur toutes les syllabes et une montée de continuation mineure sur la dernière syllabe [dja] (H*). Les deux Mots "Tata" et "Nadia" sont clairement phrasés en un seul Groupe Accentuel /B B H*/. Dans quelques répétitions, j'ai observé des cas où le contour avait une forme bas-haut-bas-haut sur les quatre syllabes de la séquence. Avec un tel contour, il y a deux interprétations possibles :

- soit la séquence forme un seul Groupe Accentuel de structure tonale /B Hi B H*/,
- soit la séquence forme deux Groupes Accentuels qui se succèdent /BH*/ /BH*/ (sans accent initial) ²⁶:

ta ta na dja

 /B Hi B H*/
 ou /BH*/ /BH*/

²⁶ Les répétitions présentant un contour B-H-B-H, avec le premier ton haut sur la première syllabe de "Tata" ne posent pas de problème. Il sont interprétés comme une suite /BHiBH*/ avec un accent initial ("Tata Nadia").

La définition de la position Mi repose donc essentiellement sur le critère d'allongement final. Si "Nadia" est la première syllabe d'un Groupe Accentuel (cas /BH*/ /BH*/), elle sera précédée d'une syllabe allongée ([tata:]). Si cette syllabe est au milieu d'un Groupe Accentuel (cas /BHiBH*/), la syllabe précédente ne sera pas allongée.

C'est donc l'absence d'allongement final de la voyelle précédant le /n/ qui me permettra de définir les énoncés répondant aux critères de la position "début de Mot Lexical". Cet allongement final est évalué en comparant la durée du /a/ de "Tata" dans ces phrases avec celle des phrases GIi et GAi présentées plus haut. Sur la figure 2.3a, il apparaît que la voyelle V1 précédant un segment en position Mi est plus courte que dans les autres positions.

Dans le modèle de Hirst et Di Cristo (1984, Di Cristo & Hirst 1996), une montée de f0, symbolisée par la séquence tonale /BH/, forme une Unité Tonale qui correspond à la plus basse unité intonative du français (dans ce modèle). Dans les répétitions avec un contour du type BBBH sur "Tata Nadia" (les plus fréquentes), il n'y a qu'une Unité Tonale /BH/. Dans les contours du type BHBH "Tata" forme une Unité Tonale, et "Nadia", une seconde Unité Tonale. Ces deux Unités Tonales sont alors regroupées en une Unité Rythmique ("Tata Nadia") délimitée par la syllabe finale allongée de "Nadia".

C.5. La Syllabe (S)

La dernière position considérée est le "début de syllabe". Le segment test est inséré dans un mot polysyllabique et est à l'attaque de la seconde syllabe du mot. Les phrases sont du type :

"Tonton et Anabelle arriveront demain matin."

Comme le montre le contour intonatif donné figure 2.2e, la consonne /n/ est dans une syllabe portant un ton bas et est précédée par une voyelle portant un ton bas. Dans ces phrases, la consonne test est à l'attaque de la seconde syllabe du mot, mais elle est aussi la première consonne du mot. Il est possible que la première consonne du mot ait un statut prosodique particulier (Vaissière 1989, comm. pers.). Les résultats seront donc à considérer comme ceux d'une consonne initiale dans une Syllabe et aussi première consonne du Mot.

C.6. Résumé du codage prosodique et des différences entre positions prosodiques

Les différences entre les cinq positions prosodiques examinées sont données dans le tableau II.2. Elles peuvent se résumer d'après les critères suivants :

- *Présence/absence de pause* : présence de pause avant le segment test pour les positions Pi et GIi, la pause précédant la position Pi est généralement plus longue que celle de GIi ; absence de pause pour les positions GAi, Mi, et Si.
- *Degré d'allongement final* : l'allongement final de la voyelle précédant le segment test (V1) est important pour les positions Pi et GIi, moyen pour la position GAi, et absent pour les positions Mi et Si (cf. figure 2.3).
- *Contour intonatif* (pour un échantillon du corpus) : les phrases se distinguent par la nature (bas-haut) et la fonction (démarcatif ou non) du ton précédant le segment test. Les positions Pi et GIi sont précédées d'un ton de frontière majeure de Groupe Intonatif, ce ton est un ton frontière bas ou haut (B%, H%) ; la position GAi est précédée par un ton haut démarcatif (frontière mineure, H*) ; les positions Mi et Si ne sont pas précédées par un ton démarcatif. Les segments test en position Si ou Mi sont en général précédés d'un ton bas. En position Mi, le segment peut être précédé d'un ton haut marquant la présence d'un accent initial (Hi) sur la voyelle précédente.

Les critères définissant les positions prosodiques étudiées reposent sur des critères délimitant la frontière précédente. Ces indices de frontières sont, pour l'allongement et le contour tonal, des attributs des segments en position finale dans le constituant précédent. La définition de la position prosodique repose donc sur l'hypothèse de "Strict Layering" [Selkirk 1986] selon laquelle un constituant de niveau X^P ne peut être précédé que d'un constituant de même niveau prosodique. Par conséquent, le segment placé au début d'un constituant est à la frontière entre deux constituants de même niveau. Dans cette étude, un segment est donc défini comme étant au début d'un constituant de niveau X^P parce qu'il est précédé d'un constituant répondant aux critères définis pour ce niveau X^P.

Seules les répétitions répondant à ces critères ont été incluses dans l'analyse. La proportion de rejet est relativement faible et dépend du corpus et des locuteurs. Les rejets dus à un "mauvais" phrasé sont faibles comparés aux rejets dus à des problèmes d'enregistrement ou des problèmes techniques de mesures (voir sections II.D et III.C).

Nous verrons dans la présentation du corpus que pour certains segments test j'ai examiné les cinq positions prosodiques. Pour d'autres segments test seules quelques unes de ces positions ont été comparées de façon à réduire la taille du corpus à produire par les locuteurs.

Tableau II.2 : tableau récapitulatif des différences entre positions prosodiques. Le signe “++” note un fort allongement ou une pause longue, le signe “+” note un allongement moyen ou une pause de durée moyenne, le signe “Ø” note l'absence d'allongement ou de pause. La pause, l'allongement et le ton démarcatif sont ceux qui précèdent le segment test.

Position	Critères prosodiques			différences à l'écrit	
	pause	allongement	ton démarcatif	statut morpho- logique	ponctuation précédente
Pi	+ (++)	++	% majeur (B%)	mot	point
GIi	+	++	% majeur (B,H%)	mot	virgule
GAi	Ø	+	* mineur (H*)	mot	virgule
Mi	Ø	Ø	Ø (B ou Hi)	mot composé	tiret
Si	Ø		Ø (B)	syllabe	Ø

C.7. Caractéristiques prosodiques du segment initial. La question de l'accent initial

En ce qui concerne les caractéristiques prosodiques du segment test, la transcription des contours intonatifs effectuée sur l'échantillon du corpus montre que le segment test est toujours placé dans une syllabe portant un ton bas. La syllabe ne porte donc pas un accent initial. Pour le reste du corpus, la présence de l'accent n'a été vérifiée qu'à l'oreille, ce qui ne me permet pas de conclure que tous les segments test étudiés ne portent pas d'accent initial. Pourtant, les variations articulatoires observées dans les phrases où l'absence d'accent initial a été expérimentalement vérifiée (plus de la moitié du corpus total) sont les mêmes que celles des phrases qui n'ont pas été transcrites. Ces variations articulatoires ne peuvent donc pas être attribuées à la présence d'un accent initial.

II. DONNEES DE DEBIT D'AIR NASAL

II. A. La technique aérodynamique et le matériel utilisé

En mode phonatoire "pulmonaire", l'air est expulsé des poumons sous le contrôle des muscles respiratoires. Ce flux d'air passe à travers la glotte vers les cavités supraglottales. Ces cavités comprennent la cavité orale et la cavité nasale. Les mouvements verticaux du velum ainsi que les mouvements des parois postérieure et latérales du pharynx, assurent le couplage entre ces cavités en contrôlant l'ouverture de l'orifice vélopharyngé. Lorsque cet orifice est ouvert, le flux d'air se répartit dans les cavités orale et nasale. Dans cette étude, une mesure de l'air s'écoulant par la cavité nasale a été réalisée en calculant le débit de ce flux d'air à la sortie du nez lors de la production de consonnes et de voyelles nasales. Le débit d'air, canalisé vers un transducteur, est transformé en un signal électrique variant en fonction du temps.

Les débits d'air nasal et oral ont été enregistrés à l'aide d'un masque de type Rothenberg (1977). Ce masque divisé couvre la bouche et le nez du sujet. Les débits d'air oral et nasal sont séparés par une paroi à l'intérieur du masque qui vient s'appuyer juste au dessous du nez. L'utilisation de ce masque comporte plusieurs inconvénients. Il faut faire particulièrement attention aux fuites qui peuvent apparaître dans l'une ou l'autre des cavités, si le masque n'est pas bien pressé contre le visage (ce qui dépend pour beaucoup de la morphologie du sujet). D'autre part, l'application du masque sur le visage peut gêner les mouvements de la mâchoire et de la lèvre supérieure. Par contre, ce masque présente l'avantage d'être relativement peu intrusif et surtout de pouvoir être facilement calibré²⁷. Les signaux électriques correspondant aux débits d'air oral et nasal ont été filtrés par un filtre passe-bas (6 pôles, phase linéaire) à 30 Hz pour le débit nasal et à 3000 Hz pour le débit oral. Ces signaux, et le signal audio, ont été digitalisés directement sur le système CSL-Kay (multi channel) à 10000 Hz.

Dans cette étude, je considère les variations de débit d'air nasal comme une mesure indirecte de l'aperture vélopharyngée. Pour des sujets ne présentant pas d'anormalité vélopharyngée, la quantité d'air passant à travers la cavité nasale est fonction de la taille de l'ouverture vélopharyngée [Krakow & Huffman 1993]. Toutes choses étant égales par ailleurs, plus l'aperture vélopharyngée est grande, plus le débit d'air nasal est important. Pourtant, pour pouvoir déduire les variations d'aperture vélopharyngée à partir des variations de débit d'air nasal, il faut contrôler plusieurs facteurs qui affectent le débit nasal. Ces facteurs sont principalement les modifications de la résistance de la cavité orale et les modifications du débit d'air total [Krakow & Huffman 1993] :

- La quantité d'air s'écoulant à travers le nez dépend de la quantité d'air passant à travers la bouche. Pour un débit d'air total et une aperture vélopharyngée constants, une augmentation de la résistance de la cavité orale va augmenter la quantité d'air passant à travers le nez. La résistance de la cavité orale est fonction de sa taille et donc, du degré et de la localisation de la constriction orale. Dans cette étude, les comparaisons entre positions prosodiques se font par types de segments (une consonne dentale /n/ et une voyelle ouverte /A\$/). Je pars de l'hypothèse que, pour chaque segment considéré, la constriction orale est stable et que la variation de débit nasal ne provient pas d'un changement de résistance orale. Nous verrons par la suite qu'il y a en fait une modification de la taille de la constriction linguale en fonction de la position prosodique. Pour contrôler les effets de la résistance orale des segments en contexte, j'examinerai la consonne /n/ dans deux types de contextes vocaliques variant en fonction de l'impédance orale des voyelles (forte dans /ini/ et faible dans /ana/).
- En fonction de l'aperture de la glotte et de la pression sousglottale, la quantité d'air totale, expulsée dans les cavités orale et nasale, va varier. Par conséquent, toutes choses étant égales ailleurs, plus le débit d'air total est important, plus le débit d'air nasal est fort. Dans cette étude les variations de débit d'air total n'ont pas été contrôlées. Une façon de contrôler les modifications possibles de débit d'air total aurait consisté à prendre une mesure de la pression supraglottale en insérant par une narine un tube descendant juste au dessus de la glotte. Cette technique a été considérée trop intrusive pour être réalisée. Une seconde méthode consiste à déterminer la quantité d'air total en additionnant les débits d'air nasal et oral et à calculer la proportion d'air passant à travers le nez [débit nasal/(débit nasal + débit oral)]. La proportion d'air passant à travers le nez dépendra de l'ouverture vélopharyngée et de la résistance orale mais pas de la quantité d'air totale [Huffman 1990]. Pour les consonnes occlusives nasales, il n'est pas possible d'avoir une mesure de débit d'air oral puisque l'occlusion orale bloque le passage de l'air. Pour la voyelle nasale, des problèmes techniques pour la mesure de débit oral ont empêché ce calcul.

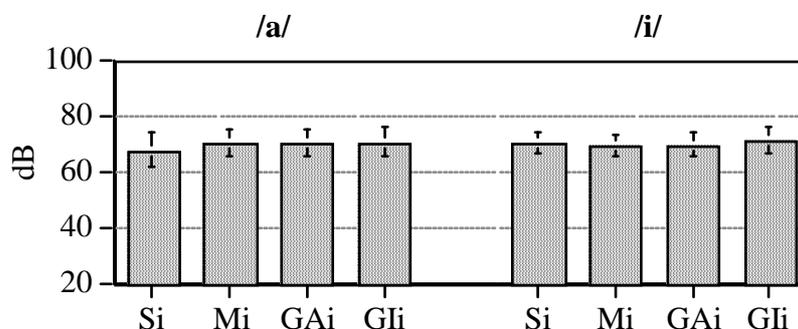
Le manque de contrôle des variations de débit d'air total est à garder à l'esprit car il a été montré que la pression sousglottale peut varier en fonction de l'accent et de la position linéaire dans la phrase [voir Krakow & Huffman 1993]. Dans notre corpus, les segments test sont toujours placés au milieu de la phrase où l'on peut assumer une pression sousglottale stable, comparée au début ou à la fin d'un énoncé. Par contre, il est possible que les différentes positions prosodiques comparées soient aussi marquées par un changement de pression sousglottale et/ou d'ouverture glottale, induisant une modification du débit d'air total. Dans ce cas, les variations de débit nasal observées ne seraient que le résultat d'une variation de débit d'air total. Dans cette étude, pour contrôler

²⁷ Un autre avantage du masque de Rothenberg est sa plage de fréquence (jusqu'à 3500 Hz).

cette possibilité, j'examine l'énergie acoustique de la voyelle suivante (V2) qui est tautosyllabique et porte toujours un ton bas (n'est jamais accentuée). Si le débit d'air total est plus fort à certaines positions on peut supposer que cette voyelle sera plus intense. La figure 2.4 présente le maximum d'énergie acoustique mesuré dans la voyelle V2 sur une enveloppe d'énergie calculée à partir du signal audio. L'énergie de la voyelle /a/ de la suite /ana/ et celle de la voyelle /i/ de la suite /ini/ sont présentées en fonction de la position prosodique de la consonne /n/ précédente. Ces valeurs sont une moyenne des productions de 4 locuteurs.

Sur cette figure, il apparaît que l'énergie de V2 ne varie presque pas et surtout elle ne diffère pas de manière systématique en fonction de la position prosodique. Bien que les relations entre le débit d'air total expulsé lors de la production d'une voyelle et son énergie acoustique ne soient pas directes, je considère que la stabilité de l'énergie acoustique de V2 est un indice de la similitude du débit d'air total lors de la production de la syllabe test entre toutes les positions prosodiques.

Figure 2.4 : Maxima d'énergie acoustique de la voyelle suivant la consonne test /n/ (V2). Les valeurs présentées en fonction de la position prosodique de /n/ représentent la moyenne des productions des 4 locuteurs pour la voyelle /a/ de la suite /ana/ et /i/ de la suite /ini/ (expérience de débit d'air).



II. B. Segments test, phrases cadres et positions

Les variations de débit nasal en fonction de la position prosodique ont été étudiées pour deux types de segments nasals : (1) la consonne nasale dentale /n/ et (2) la voyelle nasale ouverte /A\$/.

- La consonne nasale /n/ est examinée dans deux types de contexte vocalique symétrique : /a_a/ et /i_i/. Ces deux contextes vocaliques ont été étudiés de façon à tester si les variations de débit nasal pour /n/ ne dépendent pas de l'impédance orale de la voyelle: forte pour /i/ et faible pour /a/.
- La voyelle nasale /A\$/ a été produite dans le contexte /kA\$d/ dans la séquence "Jacques André".

Dans cette section, je présenterai les corpora en fonction de la séquence test étudiée, du nombre de positions prosodiques examinées et de la structure des phrases cadres. Les corpora complets sont donnés en Annexe.

Corpus n°1 : "/n/ à des positions sérielles différentes"

Dans ce premier corpus, les variations de débit nasal pour la consonne /n/ sont comparées pour des consonnes placées dans 4 positions prosodiques différentes: au début de Groupe Intonatif (GLi), au début de Groupe Accentuel (GAi), au début de Mot (Mi) et au début d'une syllabe (Si). Le tableau II.3 présente les phrases conçues pour la séquence /ini/. Pour le corpus conçu pour la séquence /ana/, la séquence "Tatie Nicole" est remplacé par la séquence "Tata Nadia". Il faut noter que, dans ce corpus, la position sérielle du segment dans la phrase et le nombre total de syllabes dans la phrase n'ont pas été contrôlés :

- en position GLi, /n/ est dans la 4ème syllabe d'une phrase de 13 syllabes (si le locuteur produit "pauvre" en 2 syllabes, /n/ est dans la 5ème syllabe d'une phrase de 14 syllabes).
- en position GAi, /n/ est dans la 5ème syllabe d'une phrase de 16 syllabes.
- en position Mi, /n/ est dans la 7ème syllabe d'une phrase de 16 syllabes.

- en position Si, /n/ est dans la 8ème syllabe d'une phrase de 17 syllabes.

La position sérielle du segment test varie donc parallèlement à sa position prosodique : plus le segment est haut dans la hiérarchie prosodique plus il apparaît tôt dans la phrase. L'effet de la position sérielle sur les variations de débit sera contrôlé en comparant les résultats obtenus pour ce corpus (enregistré pour 4 locuteurs) avec ceux obtenus pour le corpus n°2 (enregistré pour seulement 2 des 4 locuteurs).

Corpus n°2 : "/n/ dans la 5ème syllabe de la phrase"

Dans ce deuxième corpus, la position sérielle du segment test est contrôlée : tous les /n/ sont dans la 5ème syllabe de la phrase. Les phrases cadres ont à peu près le même nombre de syllabes (14 pour Gli, et 13 pour les autres). Le segment test est donc dans la 5ème syllabe de la phrase et est suivi de 8 à 9 syllabes. Le Tableau II.4 donne un exemple de ce corpus pour la séquence /ana/.

Corpus n°3 : "Voyelle nasale /ã/"

Dans ce corpus, le débit d'air nasal de la voyelle nasale ouverte /ã/ est comparé pour 3 positions prosodiques différentes : le début de Groupe Intonatif (Gli), le début de Groupe Accentuel (GAi), et le début de Mot (Mi). La position "début de Syllabe (Si)" n'est pas examinée²⁸. Le corpus est présenté dans le tableau II.5. Dans ce corpus n°3, la position sérielle du segment test varie aussi avec la position prosodique :

- en position Gli, /ã/ est dans la 3ème syllabe d'une phrase de 12 syllabes (si le sujet produit "pauvre" en 2 syllabes, /ã/ est dans la 4ème syllabe d'une phrase de 13 syllabes).
- en position GAi, /ã/ est dans la 5ème syllabe d'une phrase de 16 syllabes.
- en position Mi, /ã/ est dans la 6ème syllabe d'une phrase de 15 syllabes.

Tableau II.3 : Corpus n°1 : "/n/ à des positions sérielles différentes". Phrases conçues pour la séquence /ini/. Pour la séquence /ana/ les phrases sont identiques mais avec la séquence "Tata Nadia" et "Anabelle".

Gli	Pauvre Tatie, Nicole et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tatie, Nicole et Paul arriveront demain par le train.
Mi	Tonton-Paul et Tatie-Nicole arriveront demain par le train.
Si	Tonton-Paul et Tatie-Inibelle arriveront demain par le train.

Tableau II.4 : Corpus n°2 : "/n/ à la 5ème syllabe de la phrase". Phrases conçues pour la séquence /ana/. Pour la séquence /ini/ les phrases sont identiques mais avec la séquence "Tatie Nicole" et "Inibelle".

Gli	La pauvre Tata, Nadia et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Nadia et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata-Nadia arriveront demain matin.
Si	Tonton et Anabelle arriveront demain matin.

Tableau II.5 : Corpus n°3 : "voyelle nasale /ã/".

Gli	Pauvre Jacques, André et Pierre n'arriveront que demain.
GAi	Olivier, Jacques, André et Pierre arriveront demain par le train.
Mi	Paul Dupond et Jacques André arriveront demain par le train.

²⁸ En français il est difficile d'avoir une voyelle en position initiale de Syllabe sans qu'elle soit initiale d'un Mot. J'aurai pu avoir une séquence de deux voyelles comme dans le mot "méandre" mais alors le contexte segmental aurait été différent de celui des autres positions.

II.C. Les locuteurs

Quatre locuteurs français, 3 femmes et 1 homme, ont participé à cette expérience. Les locuteurs seront présentés par numéro avec comme abréviation "M" pour masculin et "F" pour féminin. Tous ont entre 20 et 30 ans. Le locuteur 1F, l'auteur, est parisienne et était à Los Angeles depuis 2-3 ans au moment de l'enregistrement. Le locuteur 2M est parisien et vit aux États-Unis depuis 5 ans. Ces deux locuteurs sont aussi les locuteurs de l'expérience d'EPG. Le locuteur 3F a habité dans plusieurs régions de France pendant son enfance, puis à Orléans et vit à Paris depuis quelques années. Au moment de l'enregistrement, elle était à Los Angeles depuis 6 mois, et avait fait un stage de 9 mois à Los Angeles l'année précédente. Le locuteur 4F a vécu en France jusqu'à ses 18 ans, puis au Québec pour 2 ans (sans prendre l'accent québécois). Au moment de l'enregistrement, elle était à Los Angeles depuis 2 ans.

Aucun des quatre locuteurs n'a d'accent régional marqué, ni de problème de production ou perception de la parole, ni d'anomalie physiologique connue au niveau du nez.

II.D. Procédure d'enregistrement et calibration des données

Les enregistrements ont été effectués au Laboratoire de Phonétique de UCLA. Les corpora n°1 et n°3 ont été enregistrés par les 4 locuteurs, alors que le corpus n°2 n'a été enregistré que par les locuteurs 1F et 2M.

Les phrases ont été conçues de façon à ce que les segments test soient placés à une position prosodique particulière. Pour ne pas influencer artificiellement la segmentation prosodique des phrases, aucune instruction n'a été donnée aux locuteurs quant à la façon de lire ou de phraser les stimuli. Il leur était seulement demandé de lire les phrases d'une façon plutôt vive, enjouée, et d'essayer d'y mettre du sens lorsqu'ils avaient tendance à lire ces phrases d'une façon trop plate et monotone (ce qui a été nécessaire plusieurs fois vu le type de phrases et le nombre de répétitions!).

D.1. Présentation aux locuteurs

Pour un segment test donné, les phrases du corpus ont été présentées aux locuteurs par bloc présentant la liste des phrases conçues pour les différentes positions prosodiques. Par exemple, les locuteurs avaient un imprimé avec la liste des phrases apparaissant dans les tableaux II.3, II.4 et II.5 mais sans la première colonne indiquant la position prosodique. Les locuteurs devaient répéter 5 ou 6 fois la 1ère phrase, puis passer à la seconde phrase qu'ils répétaient 5 ou 6 fois, et ainsi de suite jusqu'à la fin du bloc. Puis, une deuxième série de 5-6 répétitions de chaque phrase était enregistrée de la même manière mais en commençant par la dernière phrase et en remontant jusqu'à la 1ère. Ce renversement de l'ordre a été effectué de façon à éviter un effet de liste : la prononciation de la dernière phrase aurait pu varier, non pas en fonction de la position prosodique examinée, mais seulement parce que cette phrase est la dernière du bloc.

La présentation par bloc a été préférée à un mode de présentation en ordre aléatoire pour deux raisons :

- en présentant en bloc les différentes positions prosodiques examinées, il est clairement montré au sujet que ces phrases contiennent approximativement les mêmes mots, mais que leur sens varie en fonction du regroupement et de l'agencement des noms et prénoms entre eux ("Tata, Nadia" vs "Tata-Nadia"...). De cette façon, j'ai cherché à encourager le locuteur à produire des groupements prosodiques particuliers pour différencier les phrases.
- d'autre part, puisque l'objectif est de comparer ces phrases, la présentation en bloc, avec une série de répétitions de la même phrase à la suite, permet d'éviter une trop grande variation dans le phrasé choisi par le locuteur entre les répétitions.

Comme les transducteurs de débit sont assez sensibles, les sujets avaient la consigne de retirer le masque à la fin de chaque répétition pour respirer avant de produire la répétition suivante. Ceci m'a permis de prendre un point de référence entre chaque répétition.

D.2. Nombre de répétitions

Pour le corpus n°1, environ 20 répétitions des séquences /ana/ et /ini/ ont été enregistrées en deux sessions de 10 répétitions par les locuteurs 2M, 3F et 4F. Pour le locuteur 1F, l'enregistrement a été effectué en une seule session (2 séries de 2*5 répétitions)²⁹. Pour le corpus n°2, environ 10 répétitions des phrases ont été enregistrées en une session par les deux locuteurs 1F et 2M. Pour le corpus n°3, environ 10 répétitions des phrases avec la voyelle /A\$/ ont été enregistrées en une seule session pour les locuteurs 1F, 2M, 3F et en deux sessions pour le locuteur 4F.

D.3. Rejets et critères d'élimination

Le nombre de répétitions de chaque phrase qui a été pris en considération lors de l'analyse ne correspond pas toujours au nombre enregistrées. Le nombre de répétitions analysées pour chaque type de phrase, par locuteur et dans chaque corpus est donné en Annexe. Ont été éliminées :

- (1) les répétitions présentant des débits d'air extrêmes ou étranges, probablement dus à des problèmes lors de l'acquisition des données. D'autre part, pour le locuteur 1F dans le corpus n°2, un problème technique m'a empêché d'analyser les données recueillies pour la position Si dans le contexte /ana/. Pour ce contexte seules les positions Mi, GAi, et GIi seront comparées.
- (2) les répétitions durant lesquelles les sujets ont inspiré pendant la pause dans les phrases GIi (peu fréquent et quand cela arrivait les répétitions n'étaient pas sauvegardées).
- (3) les répétitions durant lesquelles les sujets ont expiré pendant la pause en position GIi et lorsque le débit d'air nasal n'est pas retourné sur la ligne de base avant le début du segment test. Dans ces cas, il est certain que les variations de débit d'air nasal ne correspondent pas seulement à des variations d'aperture vélopharyngée, mais aussi à des variations de débit d'air total. Ce critère est le principal responsable des rejets qui ont du être effectués en position GIi (environ 15%).
- (3) après vérification des phrasés produits, les répétitions ne présentant pas la structuration prosodique voulue. En particulier lorsque les phrases de la position GAi étaient précédées d'un petit intervalle de silence (pause), même si la frontière était ressentie comme une frontière moins importante que celle précédant la position GIi (très peu de cas).

D.4. Calibration et traitement des données

Pour chaque répétition, les valeurs recueillies sur la courbe de débit d'air nasal ont été soustraite d'une valeur de référence. Cette valeur est prise sur la ligne d'offset après que le locuteur ait retiré le masque de sa figure à la fin de la séquence.

La calibration du débit nasal a été effectuée en enregistrant des quantités de débit d'air connues à l'aide d'un système de calibration adapté au masque. Des débits de 15, 25 et 35 l/min. produits par un générateur ont été enregistrés et leurs valeurs en Volt ont été mesurées sur CSL. Le débit d'air total insufflé dans le masque de Rothenberg se distribue dans les cavités orale et nasale en fonction du nombre de trous dans chacune des cavités. Le masque a 17 trous dont 6 dans la cavité nasale et 11 dans la cavité orale. La proportion d'air passant dans la cavité nasale est donc de 6/17.

Pour chacun des débits connus (15, 25, 35 l/min. (Z)), la calibration a été effectuée de la manière suivante :

- (1) soit Z', le débit passant par la cavité nasale en ml/s. pour chaque débit connu Z (en l/min.)
$$Z' \text{ (ml/s.)} = Z * (1000/60) * (6/17)$$
- (2) soit W la valeur réelle en Volt (soustraite de la valeur de référence) mesurée pour chaque débit Z. (W = Wmesure - ref.)
- (3) la régression des valeurs W relevées pour les trois débits connus Z donne l'équation du type $Y = aX + b$.
- (4) les valeurs calibrées, Y, sont calculées à partir de cette équation où X est la valeur réelle de débit nasal mesurée dans les phrases du corpus (soustraite de la valeur de base).

²⁹ Le nombre de sessions nécessaire aux enregistrements a été fonction de la disponibilité des locuteurs uniquement.

II.E. Mesures de débit nasal

Avant de présenter les mesures faites dans cette expérience, il faut insister sur le fait que ce sont des mesures de débit. En aucun cas ce ne sont des mesures articulatoires cinématiques. La présence de débit nasal dans le signal n'est qu'une *conséquence* aérodynamique de l'aperture de l'orifice vélopharyngé. Je considère que les variations de débit nasal sont une conséquence indirecte des variations de la hauteur du velum. L'apparition du débit nasal dans le signal ne correspond pas forcément au début du mouvement d'abaissement du velum pour l'ouverture vélopharyngée. Ce dernier peut apparaître bien avant que le débit nasal n'apparaisse. Pour la fermeture de l'orifice vélopharyngé c'est la même chose : la disparition du débit nasal ne correspond pas forcément à la fin du mouvement d'élévation du velum.

La forme du contour de débit nasal pour /n/ et pour /A\$/ est très variable. Je n'ai pas trouvé de formes particulières permettant de caractériser chaque position prosodique. J'ai donc choisi de considérer que des points de mesure à des instants précis dans le signal. Ces mesures correspondent à 2 types de dimension "pseudo-articulatoires" : une dimension "spatiale" (valeur du débit) et une dimension "temporelle" (étendu de la nasalisation). Les différentes mesures ont été prises sur le signal de débit nasal et sur le signal audio (ou sur un spectrogramme). Le signal de débit oral n'a été utilisé que pour repérer les événements temporels en complément ou en confirmation des indices présentés sur le signal audio (par exemple pour le relâchement de l'occlusion de /n/ correspondant à l'apparition de débit oral).

E.1. Une mesure "spatiale" : débit nasal au point maximal

Toutes choses étant égales par ailleurs, le débit nasal correspond à la taille de l'orifice vélopharyngé. Pour simplifier, je considère que cette dernière correspond au degré d'élévation du velum. Les études présentées en Introduction ont montré que l'élévation du velum peut varier en fonction de la position du segment. Cette variation devrait donc se traduire par une variation de débit d'air nasal en fonction de la position prosodique. J'ai sélectionné un point dans le temps pour prendre cette mesure : le point où le débit est maximal dans le segment. Je suppose que ce pic de débit nasal reflète indirectement l'ouverture vélopharyngée maximale pour ce segment. Comme le segment est un segment nasal, l'ouverture vélopharyngée maximale est considérée comme la cible articulatoire de ce geste.

Les figures 5 a et b présentent les signaux audio, de débit nasal, de débit oral et un spectrogramme correspondant à une répétition de la consonne /n/ et de la voyelle /A\$/. Les lettres capitales indiquent les points de mesures. Le maximum de débit nasal est indiqué par la lettre **A**. Pour /n/ et /A\$/, ce point est mesuré à l'intérieur des frontières du segment nasal, déterminées par les signaux audio et de débit oral. Il est situé en général vers la fin du segment. Ce point de mesure ne correspond pas forcément au maximum de débit absolu dans la séquence /VnV/ ou /CA\$C/. Le maximum absolu de débit nasal dans le signal peut apparaître après la fin acoustique du segment (i.e. dans le segment suivant). Ceci est fréquent pour la voyelle /A\$/ comme le montre la figure 2.5b. Les frontières de la voyelle /A\$/ sont déterminées par l'apparition et la disparition du débit oral qui correspondent à l'ouverture et la fermeture de la bouche pour la voyelle entre les deux occlusives orales /k/ et /d/. Après l'arrêt du débit oral à la fin de la voyelle, il est fréquent que le débit nasal continue de monter pour atteindre son maximum dans la consonne suivante. Ce non alignement des débits oral et nasal reflète la non-coordination des mouvements oral et vélopharyngé : la voyelle est suivie d'un appendice consonantique nasal, avec occlusion orale et orifice vélopharyngé ouvert, formant une séquence du type [kA\$nd]. Ceci apparaît clairement sur les spectrogrammes par la présence d'une zone formantique de faible intensité entre l'intervalle formantique pour la voyelle et l'absence d'énergie dans les moyennes et hautes fréquences pendant l'occlusion du /d/. Le débit nasal est alors plus fort que dans la voyelle car l'occlusion orale augmente la résistance de la cavité orale au débit d'air. Je n'ai donc pas choisi ce point maximum car il ne correspond pas à la taille de l'orifice vélopharyngé.

Figure 2.5a et b : Illustrations des mesures de l'expérience de débit nasal pour les segments tests /n/ et /A\$. Le /n/ (2.5.a) est placé dans la séquence "Tata, Nadia" en position GAi. Le /A\$ (2.5.b) est placé dans la séquence "Jacques, André" en position Gli (et est donc précédé d'une pause). Productions du locuteur IF. Les lettres indiquent les points de mesure : (A) maximum de débit nasal, (B) début de la nasalisation; (C) fin de la nasalisation; (D) et (E) début et fin acoustique de /n/. Les carrés grisés illustrent les mesures d'anticipation et de persévération du débit nasal pour /n/ (voir texte).

Figure 2.5 a : /n/

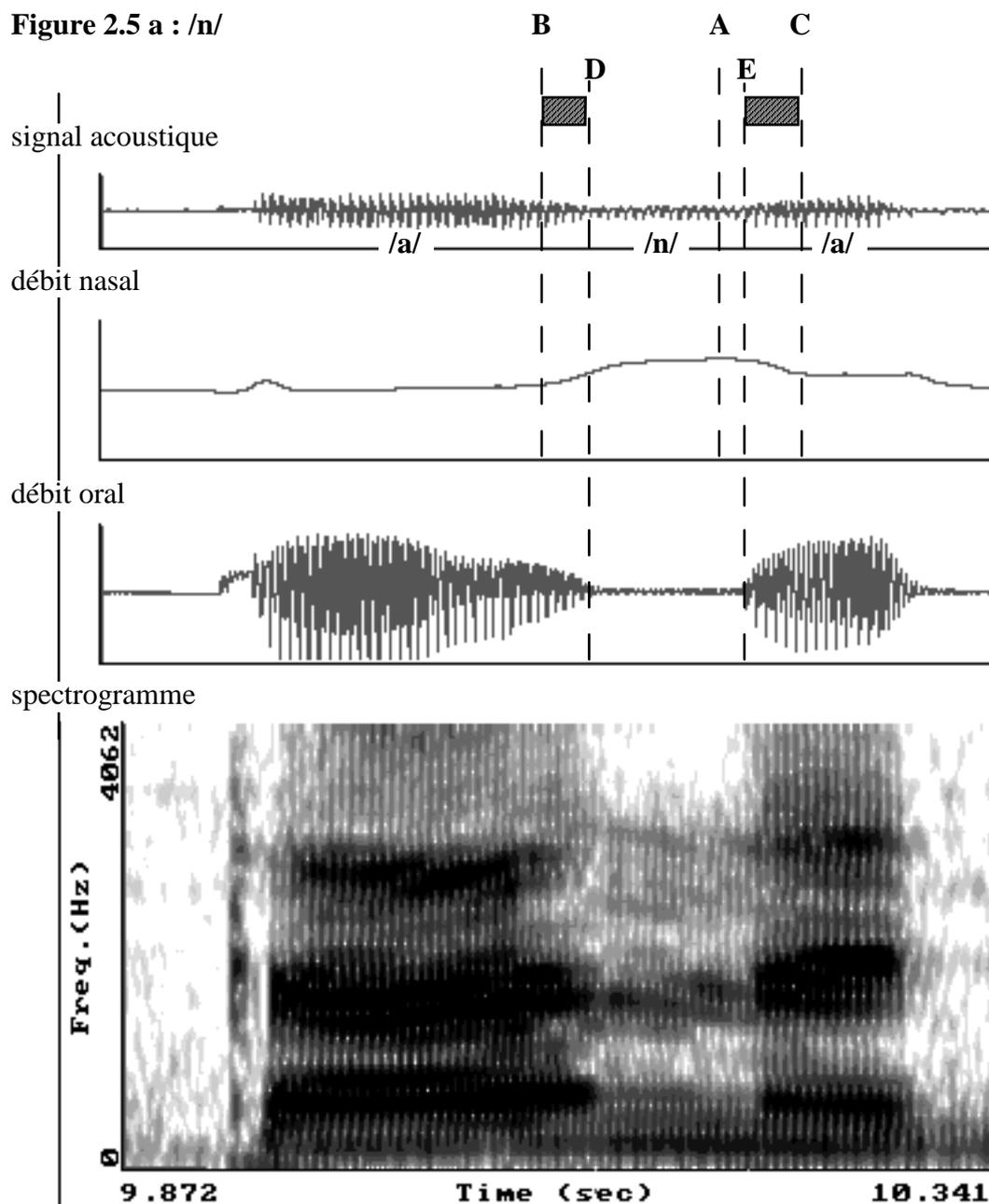
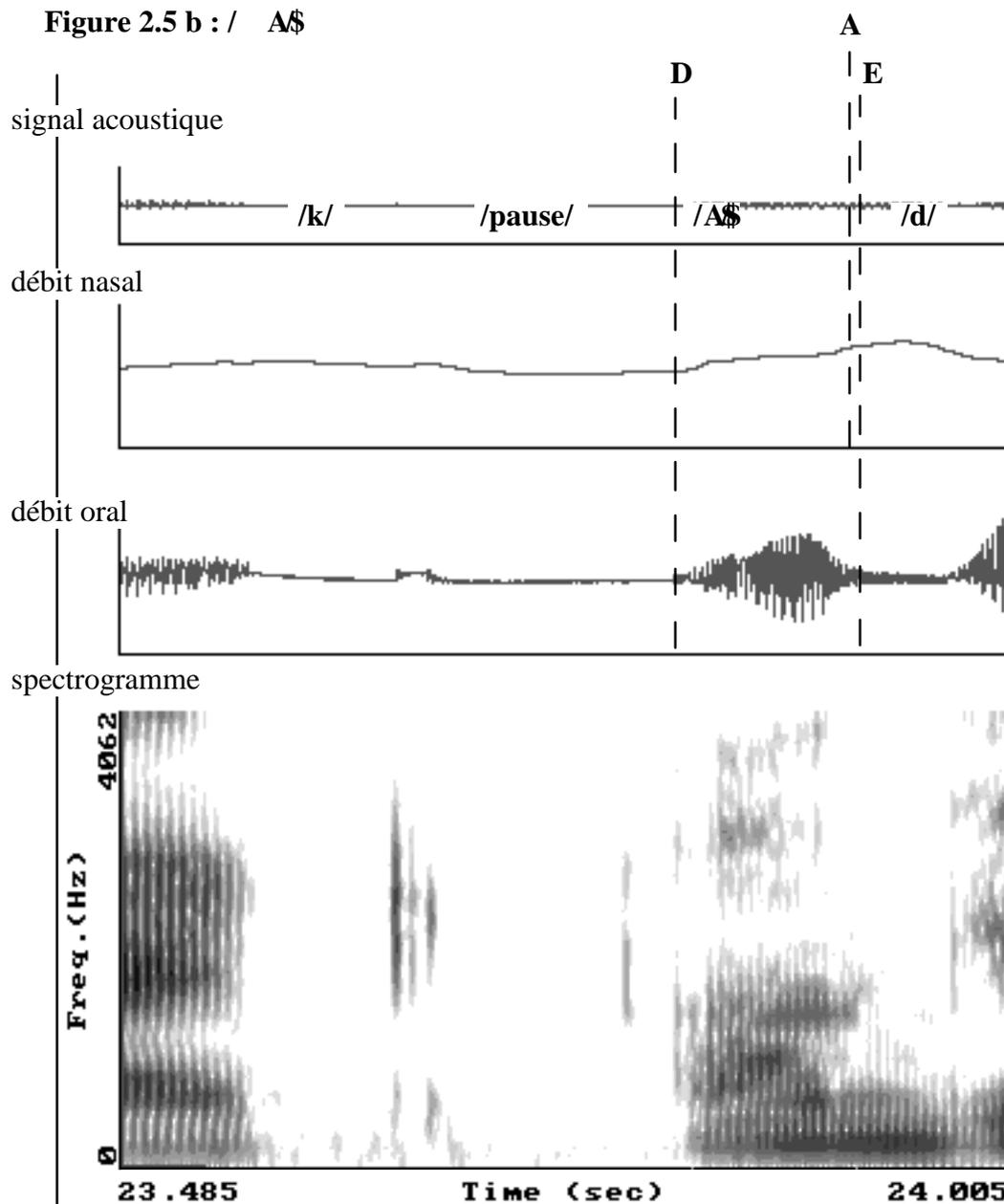


Figure 2.5 b : / A\$



E.2. Une mesure de l'étendue de la nasalisation de /n/

Nous avons vu dans l'introduction que la position prosodique influençait les caractéristiques spatiales des articulations mais aussi la durée des gestes articulatoires. Les caractéristiques temporelles des mouvements d'ouverture et de fermeture de l'orifice vélopharyngé sont mesurées ici indirectement à partir de l'apparition - disparition du débit nasal dans le signal :

- l'apparition du débit nasal pour /n/ est généralement très progressive et commence bien avant le début acoustique du segment. En observant les courbes de débit, j'ai isolé le point où la pente de la courbe de débit nasal change rapidement pour monter avec plus de raideur vers le segment nasal. Ce point de mesure, indiqué par la lettre B sur la figure 2.5a, est considéré comme *le début de la nasalisation*. Ce point de mesure est subjectif car il est déterminé de visu et non par la mesure d'un changement de vélocité par exemple. D'autre part, comme on l'a déjà signalé, ce point ne correspond pas forcément au début du mouvement d'ouverture vélopharyngée.

- la disparition du débit nasal est aussi progressive. *La fin de la nasalisation* est considérée comme le point où, sur la courbe de débit, la pente descendante fait un coude et perd de sa raideur. Ce point est indiqué par la lettre **C** sur la figure 2.5a. Cette mesure est extrêmement délicate car comme on le voit sur la figure, le débit nasal descend en fait de façon graduelle pendant la voyelle suivante (V2). Dans cet exemple, il semblerait que toute la voyelle est nasalisée car le débit nasal reste important pendant presque toute la durée de V2. Ce point est donc situé bien avant la fermeture complète de l'orifice vélopharyngé. Cette mesure est donc à analyser et à interpréter avec précaution.
- la durée de la nasalisation est mesurée entre ces deux points B et C.

$$\text{durée de la nasalisation (ms.)} = C - B$$

Nous avons vu également que la coordination temporelle entre les gestes articulatoires pour un segment pouvait varier en fonction de sa position prosodique. Une mesure indirecte de la coordination entre le mouvement du velum et les mouvements oral et glottal de la consonne /n/ a été faite en examinant l'alignement temporel entre l'apparition-disparition du débit nasal et les frontières acoustiques du segment :

- *le début acoustique* de /n/ est déterminé par le début des vibrations laryngées sur le signal audio, l'apparition des formants nasals sur le spectrogramme et la disparition du débit oral (lorsque /n/ n'est pas précédé d'une pause). Ce point est indiqué par la lettre **D** sur la figure 2.5a.
- *la fin acoustique* de /n/ est déterminée par l'apparition du débit oral (correspondant au relâchement de l'occlusion) et l'apparition des formants vocaliques de la voyelle suivante. Ce point est indiqué par la lettre **E** sur la figure 2.5a.
- l'intervalle de temps entre l'apparition du débit nasal (B) et le début acoustique de /n/ (D) est considéré comme une mesure de *l'anticipation de la nasalisation*.

$$\text{anticipation du débit nasal (ms.)} = B - D$$

- l'intervalle de temps entre la disparition du débit nasal (C) et la fin acoustique de /n/ (E) est considéré comme une mesure de *la persévération de la nasalisation*.

$$\text{persévération du débit nasal (ms.)} = C - E$$

J'ai choisi d'étudier l'anticipation ou la persévération du débit nasal par rapport aux frontières acoustiques de /n/ et non par rapport aux voyelles environnantes V1 et V2 car leur durée varie dans le corpus en fonction du degré d'allongement final. D'autre part en position GIi, /n/ est précédé d'une pause mais pas dans les autres positions.

III. DONNEES ELECTROPALATOGRAPHIQUES

III.A. L'électropalatographie (EPG)

L'EPG, ou "palatographie dynamique", est une technique permettant d'enregistrer en continu le contact de la langue sur le palais. Un palais artificiel couvert d'électrodes est placé dans la bouche du sujet et est relié à un ordinateur. À chaque contact de la langue sur les électrodes, un signal électrique est envoyé à l'ordinateur et le contact apparaît sur l'écran. Dans cette étude, le palatographe de Kay-Elementrics est utilisé (Kay-Elementrics Palatometer).

Le palais artificiel est fabriqué en résine acrylique d'une épaisseur d'environ 1 mm à partir d'une empreinte du palais de chaque sujet. Il est moulé de façon à couvrir tout le palais dur du sujet et les surfaces interne et externe des molaires et des incisives. Le palais utilisé pour le Kay-Palatometer comprend 96 électrodes implantées dans la résine. La figure 2.6 présente les palais des deux locuteurs (1F et 2M). Les points blancs indiquent l'emplacement des électrodes. Celles-ci sont dispersées sur le palais dur et la surface interne des molaires. La disposition des électrode a été quelque peu modifiée par rapport à l'emplacement standard créé

pour l'anglais. Comme les consonnes antérieures du français sont majoritairement dentales [p. ex. Dart 1991], deux des 96 électrodes (initialement placées à l'arrière du palais) ont été placées pour nos palais sur la surface interne des incisives à mi-distance entre le bord des dents et le bord du palais. L'emplacement de ces deux électrodes a été déterminé à partir de données de palatographie statique : j'ai vérifié sur moi même (loc. 1F) le lieu d'articulation antérieur de mes consonnes /t/ lors de plusieurs répétitions et dans plusieurs contextes vocaliques.

Les électrodes se distribuent sur le palais de façon semi circulaire sur 5 arcs et le long d'une rangée sagittale médiane. La concentration des électrodes est plus grande dans la région antérieure (alvéolaire pré-palatale) et sur les bords latéraux. L'écart entre les électrodes varie en fonction de leur localisation sur le palais et de la morphologie du sujet. Dans l'étude qui va suivre j'utiliserai les termes "arcs", "lignes horizontales", "rangées verticales", "rangée sagittale ou médiane" pour décrire la répartition des contact sur le palais. La figure 2.7 illustre ces termes.

Figure 2.6 : Image des palais artificiels des deux locuteurs 1F et 2M. L'emplacement des électrodes est noté par des points blancs.

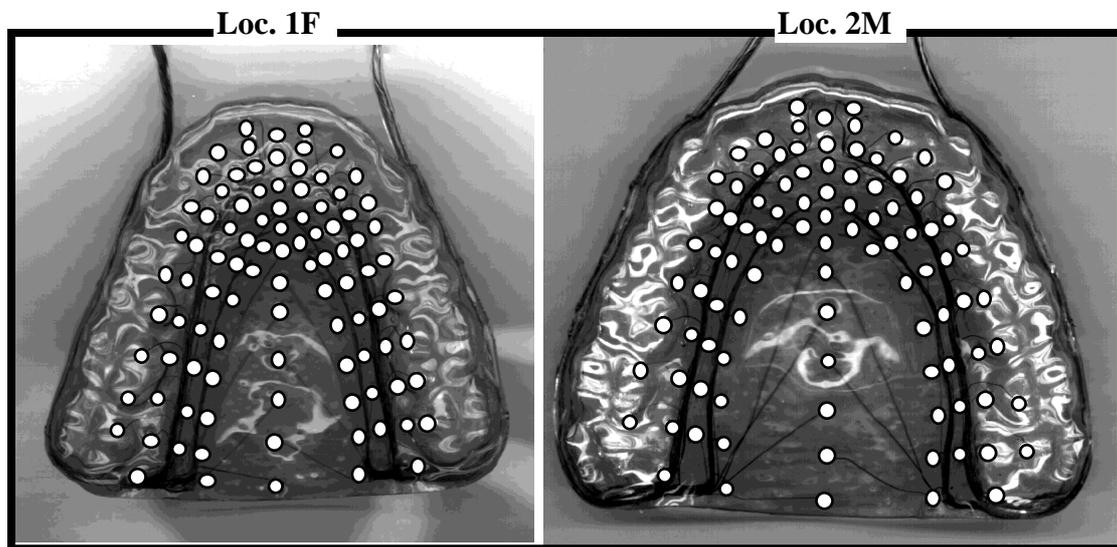
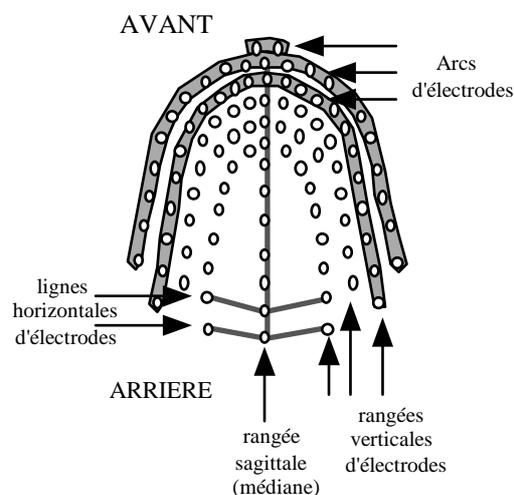


Figure 2.7: Illustration schématique des termes servant à la description de la répartition du contact sur le palais.



Le Kay-Palatometer scanne le palais avec une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz, la durée de balayage complet des 96 électrodes est de 1,7 millisecondes. Une image palatographique du contact est donc obtenue toutes les 10 millisecondes. Le signal acoustique a été enregistré à l'aide d'un microphone monté sur un casque. Ce signal a été digitalisé simultanément à une fréquence de 12800 Hz.

A.1. Ce que montrent les données EPG

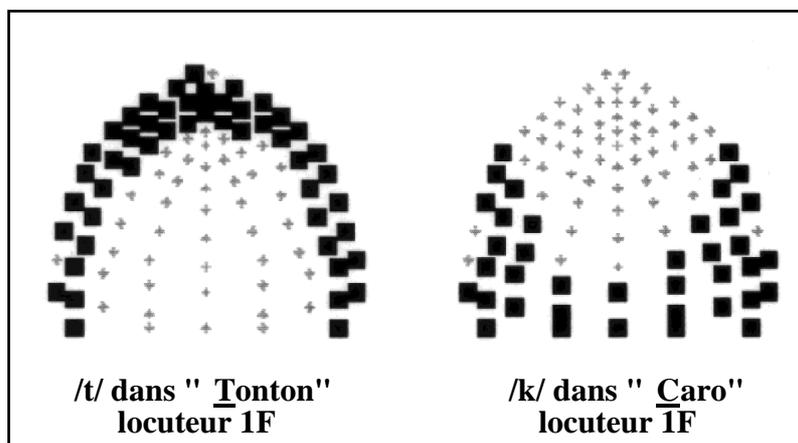
En EPG, les données sont de deux types : données spatiales et données temporelles.

Comme la palatographie statique, l'EPG renseigne sur l'articulation linguale des sons de la parole. En observant la localisation et l'étendue du contact linguopalatal, les données palatographiques ont été utilisées très tôt³⁰ pour caractériser l'articulation des sons du langage [voir Marchal 1988 pour une revue de l'évolution de la technique palatographique, puis électropalatographique].

La position du contact de la langue sur le palais renseigne sur le lieu d'articulation du son. Par exemple, la figure 2.8 présente un profil de contact linguopalatal pour une articulation dentale (/t/) et une articulation vélaire (/k/). Sur cette figure (et celles qui suivront), les électrodes contactées par la langue sont représentées en noir et les électrodes non contactées en blanc ou gris. Pour /t/ le contact se répartit en arc de cercle sur les cotés et l'avant du palais. Pour la consonne /k/ par contre le contact se répartit sur la partie postérieure du palais.

L'étendue, ou le degré, de contact linguopalatal renseigne sur le degré de constriction de la langue contre le palais pour les occlusives. Pour les non-occlusives, le degré de contact linguopalatal est une indication indirecte de l'élévation de la langue vers le palais et donc du degré de constriction orale [p. ex. Fletcher 1992]. La figure 2.9 illustre ce fait en présentant des profils de contact pour la voyelle ouverte /a/, la voyelle mi-fermée /e/ et la voyelle fermée /i/. Pour /i/, la surface de contact sur les bords latéraux du palais est plus importante que pour les voyelles plus ouvertes puisque la langue est plus élevée (et avancée).

Figure 2.8 : Profils de contact linguopalatal pour une articulation dentale (/t/) et une articulation vélaire (/k/). Les électrodes contactées par la langue sont représentées en noir et les électrodes non contactées en gris. A noter, la répartition du contact en arc de cercle sur les cotés et l'avant du palais pour /t/ et vers l'arrière du palais pour /k/.



³⁰ Par exemple, Marchal (1988) écrit que dès 1803, E. Darwin (1806) observait l'articulation linguale des voyelles à partir de la déformation exercée par la langue sur des cylindres d'aluminium placés dans la bouche du sujet.

Figure 2.9 : Profils de contact pour la voyelle ouverte /a/, la voyelle mi-fermée /e/ et la voyelle fermée /i/. Les électrodes contactées par la langue sont représentées en noir et les électrodes non contactées en gris. A noter l'augmentation du contact sur les bords latéraux du palais en fonction de l'élévation de la langue pour la voyelle.

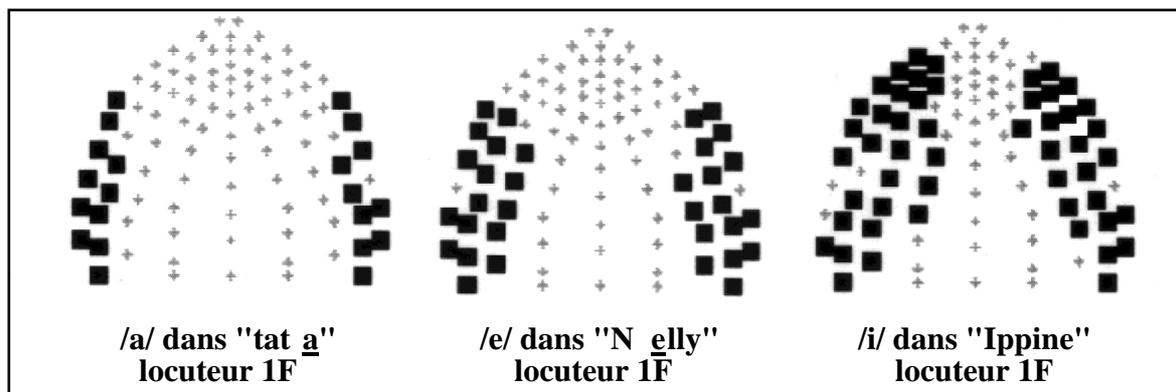
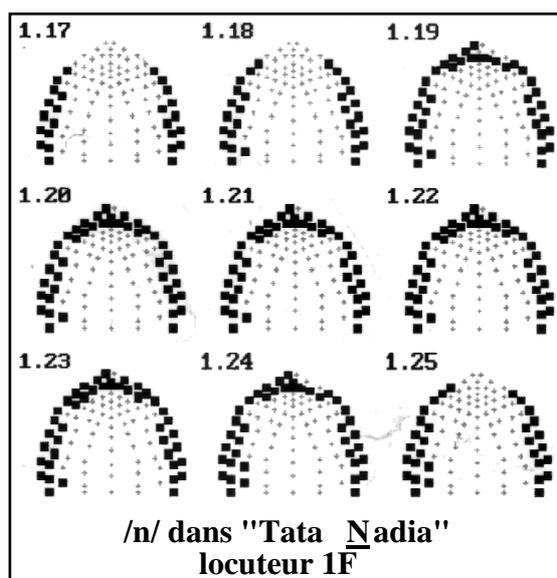


Figure 2.10 : Articulation de la consonne /n/ placée entre deux /a/ avec un profil de contact toutes les 10 ms. A noter, le début de l'occlusion complète à l'image 1.19 et son relâchement à l'image 1.25.



La palatographie statique ou dynamique ont été utilisées, par exemple, pour décrire les articulations linguales des segments dans diverses langues ou pour étudier leurs variations en fonction du contexte segmental [p. ex. Butcher & Weiher 1976 en anglais, Recasens 1984 en catalan, Farnetani et al. 1985 en Italien]. Par rapport à la palatographie statique, l'EPG comporte plusieurs avantages :

- avec la palatographie statique, il est nécessaire d'étudier des segments en position isolée ou en contexte labial pour ne pas être gêné par les contacts linguaux des sons adjacents. Par contre avec l'EPG, les segments test peuvent être placés dans des phrases cadres (où leur position prosodique varie) puisqu'elle permet d'enregistrer le contact linguopalatal en continu et d'isoler le contact pour le segment test uniquement.
- d'autre part, en palatographie statique, la trace observée sur le palais est en fait une image composite des contacts linguopalataux qui se sont succédés dans le temps, de l'approche de la langue vers le palais en

passant par la tenue puis le relâchement de l'articulation. Par contre avec l'EPG, il est possible de suivre l'évolution de l'articulation linguale dans le temps. Le contact de la langue sur le palais est enregistré séquentiellement avec une image toutes les 10 ms. Ainsi, il est possible d'observer l'évolution spatio-temporelle du contact linguopalatal. Ces informations ne permettent pas de décrire à quel moment le mouvement de la langue débute ou finit puisque les informations obtenues ne commencent qu'à partir du moment où la langue est suffisamment élevée pour entrer en contact avec le palais. Pourtant, elle permet de voir, par exemple, à quel moment l'occlusion se forme ou se relâche. La figure 2.10 présente l'articulation de la consonne /n/ telle qu'elle apparaît sur les profils de contact obtenus toutes les 10 ms. On peut voir que l'occlusion complète se forme à l'image 1.19 et qu'elle se relâche à l'image 1.25. L'électropalatographie permet aussi de comparer la succession temporelle de différents événements articulatoires. Par exemple, Recasens (1984) a montré que l'articulation d'une consonne alvéo-palatale en catalan se différencie d'une suite de consonnes "alvéolaire+ j", non seulement par une différence dans l'étendue du contact, mais surtout dans la succession des contacts, d'abord alvéolaires, puis palataux. L'EPG a aussi permis d'observer la coordination des gestes articulatoires linguaux pour des suites de consonnes [p. ex. Hardcastle 1985, Gibbon et al. 1993, Marchal 1985, Byrd 1994] ou pour la production de sons complexes comme les clicks [Thomas 1997]. Dans cette étude, j'utiliserai les informations temporelles données par l'EPG pour comparer la durée de l'occlusion linguale des consonnes occlusives et pour comparer la coordination temporelle des mouvements de la pointe et du corps de la langue pour la suite de consonnes /kl/ en fonction de la position prosodique.

A.2. Les avantages et les inconvénients de l'EPG par rapport aux autres techniques d'investigation articulatoire

Je ne présenterai ici que quelques avantages et inconvénients de l'EPG. Le lecteur intéressé par une discussion plus complète consultera les travaux de Hardcastle (1984), Marchal (1988), Fletcher (1992), Byrd (1994) parmi d'autres³¹.

Comparée aux autres techniques d'acquisition des mouvements de la langue, comme l'ultrason, l'IRM, la cinéradiographie, le X-ray microbeam ou l'articulographie, l'EPG présente les avantages principaux suivants :

- les données sont relativement faciles et rapides à acquérir et à mesurer.
- la technique ne comporte pas de risque pour le sujet et elle est peu intrusive
- elle permet d'acquérir des données sur l'articulation de la langue en dehors du plan sagittal
- elle permet de faire des enregistrements sur plusieurs sessions qui peuvent être répliquées puisque la position des points de mesure (les électrodes) est fixe sur le palais.

En contrepartie, l'EPG a les inconvénients suivants :

- le coût et la démarche nécessaire pour faire les palais artificiels limitent malheureusement le nombre de locuteurs
- les informations sur le contact de la langue sont limitées à la surface du palais artificiel, donc au palais dur. Ceci pose problème pour l'articulation des sons postérieurs.
- elle ne donne que des informations indirectes sur la forme et la position exacte de la langue dans le conduit vocal. Celles-ci sont déduites du profil de contact, or ce profil dépend aussi de la morphologie du sujet [Hiki & Itoh 1986, Hardcastle et al. 1991].
- elle ne donne aucune information directe sur les caractéristiques cinématiques des mouvements de la langue (vélocité, déplacement...).

Bien que les avis soient partagés, il semblerait que les interférences du palais artificiel sur l'articulation des sujets et le "feed-back" sensoriel soient minimales [Kozhevnikov & Chistovich 1965, Hardcastle 1972, Marchal 1988, Fletcher 1992].

³¹ Pour des travaux utilisant l'EPG avec une autre technique, voir les articles de Stone et al (1992, EPG et ultrasons) et Hardcastle et al. (1996, EPG et articulographie).

III.B. Segments test et corpora

B.1. Segments test

Dans l'introduction, nous avons vu que les effets de la position prosodique ont été étudiés dans des langues diverses et pour seulement quelques segments. Les consonnes occlusives ont été les plus étudiées. D'autre part, nous avons vu que la direction des variations articulatoires (en particulier sous l'effet de l'accent) pouvait varier en fonction du type de segment analysé et en particulier de son apertures.

J'ai donc choisi d'examiner dans cette étude les effets de la position prosodique sur l'articulation linguale de plusieurs types de segments représentant les grandes "classes" de sons du français : des occlusives d'avant et d'arrière, une fricative, une liquide et une voyelle. Les cinq segments étudiés, /n, t, k, l, s, i/, sont présentés dans le tableau II.6. Ils se distinguent selon leur lieu d'articulation et leur mode d'articulation (qui correspond aussi à leur degré d'apertures orale). Ils se différencient aussi d'après leur sonorité qui suit l'échelle suivante :

/t, k/ < /s/ < /n/ < /l/ < /i/.

Je vais aussi étudier l'effet de la position prosodique dans un groupe de consonnes, le groupe de consonnes /kl/, pour vérifier si la position prosodique du groupe de consonnes affecte l'articulation des deux consonnes qui le composent.

Des exemples du profil de contact linguopalatal des segments étudiés sont présentés figure 2.8 pour /t/ et /k/, figure 2.9 pour /i/, figure 2.10 pour /n/, figure 2.11 pour /s/ et figure 2.12 pour /l/. Leurs caractéristiques articulatoires seront données plus en détail dans la présentation des résultats pour chaque segment test.

Les consonnes /n, k, s, l, kl/ ont été placées dans un contexte vocalique symétrique /a_a/. La voyelle /a/ est utilisée car elle est la voyelle la plus ouverte du français. Comme nous l'avons vu sur la figure 2.9, cette voyelle ne présente que très peu de contact linguopalatal sur les cotés et n'interfère donc que peu avec le contact des consonnes. La consonne /t/ est placée entre les deux voyelles ouvertes nasales /O\$_O\$/. Cette voyelle n'a également que peu de contact linguopalatal latéral comme le montre l'exemple de profil présenté sur la figure 2.13. La voyelle /i/ est placé dans un contexte labial /p_p/ pour la même raison. Les segments linguaux les plus proches de la voyelle sont aussi des /i/ (/ipipi/ dans "Philippe Ippine").

Tableau II.6 : Segments tests étudiés dans l'expérience EPG.

mode d'articulation		lieu d'articulation	
		avant	arrière
occlusive	orale	/t/	/k/
	nasale	/n/	
liquide		/l/	
fricative		/s/	
voyelle		/i/	

Figure 2.11 : Exemples de profil pour de /s/. Production du locuteur 1F.

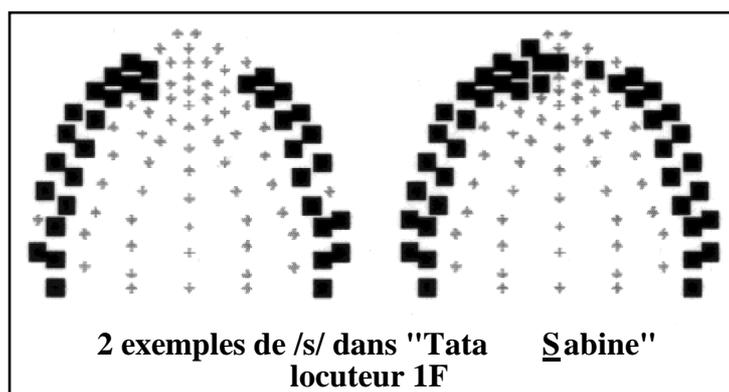


Figure 2.12 : Exemple de profil pour /l/ en contexte /a_a/ avec une image toutes les 10 ms. Production du locuteur 1F.

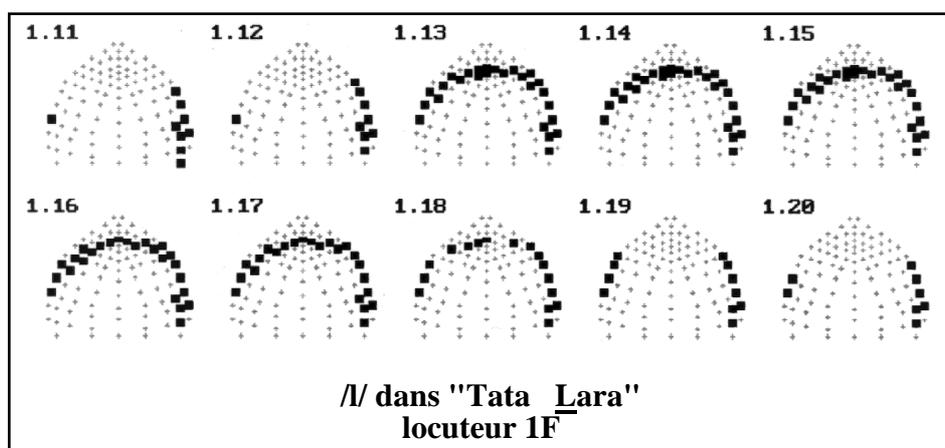
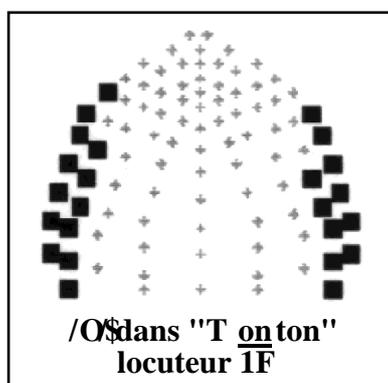


Figure 2.13 : Exemple de profil pour /O\$. Production du locuteur 1F.



B.2. Corpora, phrases cadres et positions

Les phrases cadres utilisées pour les corpora de l'expérience EPG sont très semblables à celles du corpus n°2 présenté pour l'expérience de débit d'air (tableau II.4). Les segments test sont toujours placés dans la 5ème syllabe de la phrase. La séquence "Tata Nadia" est utilisée pour le segment test /n/, elle est remplacée par "Tata Sabine" pour /s/, "Tata Caro" pour /k/, "Tata Lara" pour /l/ et "Philippe Ippine" pour /i/. Les corpora complets sont donnés en Annexe. Pour la consonne /t/, les phrases sont un peu différentes mais du même style. Ce corpus est présenté dans le tableau II.7.

Le tableau II.8 résume pour chaque segment test, le contexte segmental dans lequel il est placé, le nombre de positions prosodiques étudiées, la nature des positions étudiées et le nombre de répétitions de chaque phrase. Comme le montre ce tableau, le nombre de positions et le nombre de répétitions ne sont pas les mêmes pour tous

les segments test étudiés. Une réduction du nombre de répétitions et de positions a été effectuée pour certains segments de façon à diminuer la taille du corpus total (1690 phrases).

Tableau II.7 : corpus de l'expérience EPG pour la consonne /t/

Pi	J'ai vu Tonton. Thon lui parlait.
GIi	Le pauvre Tonton, Thon et Jacques sont déjà partis.
GAI	Tata, Tonton, Thon et Jacques sont là-bas.
Mi	C'est bien Tonton- Thon qui est là-bas.
Si	C'est bien ton tonton qui est là-bas.

Tableau II.8 : Expérience d'électropalatographie. Segments tests, contexte, nombre de positions prosodiques examinés, positions étudiées et nombre de répétitions pour chaque position et chaque segment.

Segments	contexte	# position	Pi	GIi	GAI	Mi	Si	# répétitions
C : /n/	/ana/	5	√	√	√	√	√	20
/t/	/O\$!O\$/	5	√	√	√	√	√	20
/s/	/asa/	5	√	√	√	√	√	20
/l/	/ala/	4		√	√	√	√	10
/k/	/aka/	3		√	√	√		15
CC : /kl/	/akla/	3		√	√	√		15
V : /i/	/pip/	3		√	√	√		15

III.C. Locuteurs et procédure d'enregistrement

Les locuteurs de l'expérience EPG sont les sujets 1F et 2M qui ont participé à l'expérience de débit d'air. Les phrases à produire ont été présentées aux locuteurs de la même manière que pour l'expérience 1 (voir section II.D.1). Les enregistrements ont été effectués en plusieurs sessions. Avant chaque session, le locuteur devait porter son palais artificiel pendant 3/4h-1h pour une période d'adaptation. Ces locuteurs étaient en général assez à l'aise avec le palais dans la bouche et leur style de parole était même plutôt relâché, bien que cela reste de la parole de laboratoire. Aucune anomalie de production due au port du palais n'a été remarquée³².

Les critères de rejet des répétitions sont similaires à ceux présentés dans la section II.D.3 (problèmes d'enregistrement ou mauvais phrasé). Pour cette expérience EPG il n'y a eu que très peu de rejet. Les locuteurs étaient familiarisés avec le type de phrase puisque les enregistrements EPG ont été faits après les enregistrements de débit d'air. Seul un enregistrement a dû être refait par le locuteur 1F pour le segment test /i/ car toutes ses productions des phrases correspondant à la position GAI ont été précédées d'une pause. Selon les critères définis dans la section I.C. ces productions correspondaient en fait à la position GIi.

III.D. Mesures de contact linguopalatal

Dans cette section, je présenterai les mesures effectuées dans l'expérience d'EPG. Comme certaines de ces mesures sont spécifiques au type de segment étudié, je présenterai plus en détail ces mesures dans le chapitre Résultats lors de l'analyse des données de chacun de ces segments.

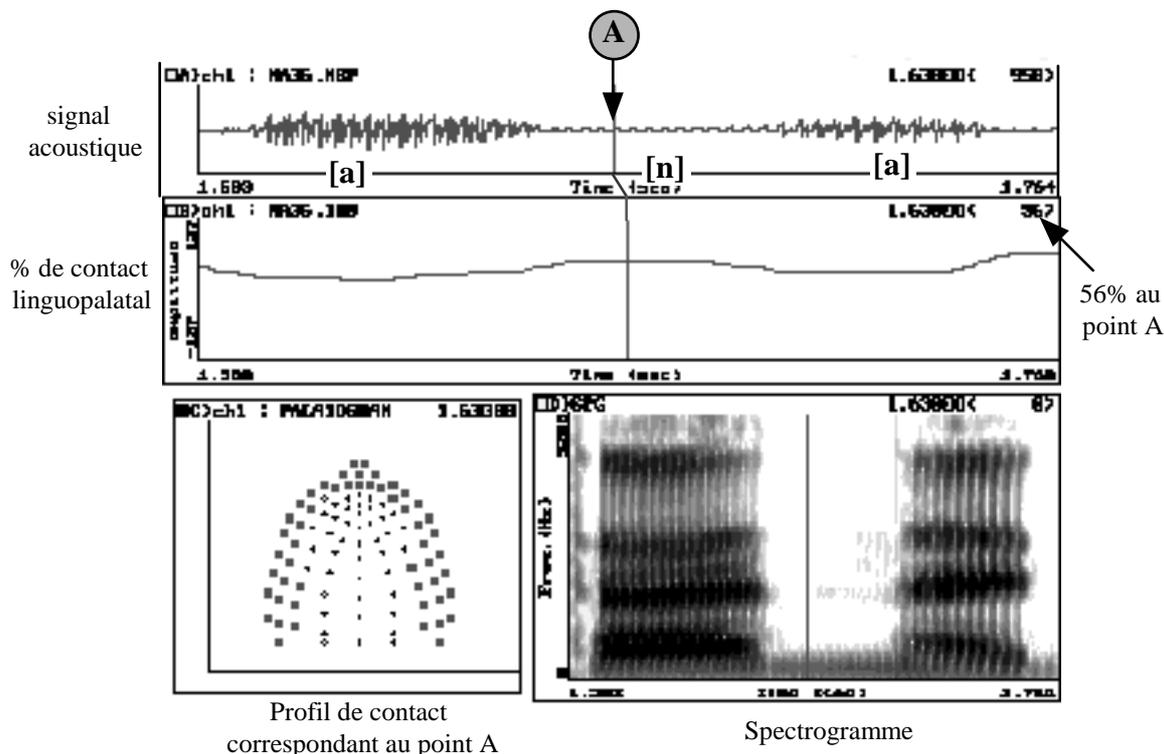
³² Ces deux locuteurs ont aussi participé à une autre étude EPG (Fougeron & Steriade 1997) où leurs productions ont servi à un test de perception. Bien qu'un jugement sur le naturel de la parole n'ait pas été demandé explicitement aux auditeurs, aucune remarque n'a été faite sur la qualité (le naturel) des productions dans les commentaires sollicités de la part des auditeurs.

Sur les données EPG, l'évolution spatio-temporelle des contacts linguopalataux apparaît en observant les images successives des contacts comme dans la figure 2.10 pour /n/. Pour simplifier l'analyse, il est également possible de calculer le nombre d'électrodes contactées à chaque point dans le temps et d'obtenir ce que l'on appelle un "profil de contact" ou une "trajectoire de contact" [Barry 1991, Byrd 1994]. Dans cette étude, j'ai utilisé un logiciel écrit pour le laboratoire de UCLA pour calculer le pourcentage d'électrodes contactées sur toute la surface du palais, ou sur une région prédéfinie du palais, à chaque point dans le temps [Byrd et al 1995]. La figure 2.14 présente un exemple de cette courbe de pourcentage d'électrodes contactées durant la séquence /ana/. Le pourcentage de contacts est calculé sur les 96 électrodes du palais, donc 1% correspond à peu près à une électrode. On peut remarquer sur cette courbe que le pourcentage d'électrodes contactées est faible pendant les deux /a/ alors qu'il est important pour la consonne occlusive linguale /n/.

D.1. Une mesure du degré de contact linguopalatal : % de contacts au point maximum de contact

J'appelle "degré" ou "quantité" de contact linguopalatal, le pourcentage d'électrodes activées au point de mesure. Pour les segments test étudiés, cette mesure a été prise au point où le contact est maximal pendant le segment. Ce point a été déterminé à partir de la courbe de pourcentage de contact. Sur la figure 2.14, il correspond au point A. Pour les occlusives, le contact est généralement maximal pendant plusieurs images et la courbe de % forme un plateau comme sur la figure 2.14.

Figure 2.14 : Illustration de la mesure du maximum de contact (au point A = 56%) sur la courbe représentant le pourcentage d'électrodes contactées sur tout le palais. Production du locuteur 2M en position GAi. A noter sur cette courbe, le faible % de contact pendant les deux /a/ et l'augmentation du contact pour l'occlusive /n/.



Pour les occlusives, le maximum de contact peut être considéré comme la cible de la constriction linguale. Pour les fricatives et les voyelles, par contre, cela n'est pas certain. En effet, pour ces segments, la langue doit être maintenue dans une position élevée mais pas trop afin de ne pas obstruer le passage de l'air. La cible articulaire de ces segments pourrait donc aussi correspondre au minimum de contact pendant le segment.

Pourtant j'ai choisi de considérer le point de contact maximal pour tous les segments. En effet, en introduction nous avons vu que :

- les variations articulatoires conditionnées par l'accent, par la position ou par la "force" du sons, consistent en une élévation plus importante de la langue pour les consonnes. Une mesure du maximum de contact pour les consonnes, y compris /s/, est donc utilisée pour voir si cette élévation maximale peut distinguer plusieurs niveaux prosodiques.
- pour les voyelles, les études présentent des résultats contradictoires. Celles-ci montrent soit une augmentation de la fermeture, soit une augmentation de l'ouverture des voyelles fermées en position initiale ou sous l'accent. Une mesure du maximum de contact pendant la voyelle /i/ montrera si au point où la langue est la plus élevée (contact maximal), il y a une élévation supplémentaire ou un abaissement au début des constituants supérieurs. Toutefois, des modifications dans la forme ou la hauteur de la langue peuvent être induites par la position prosodique, sans que celles-ci apparaissent sur le palais. Ceci sera le cas des variations qui n'élèvent pas la langue de façon suffisante pour qu'elle soit en contact avec le palais (en particulier dans sa partie centrale). J'examinerai donc aussi les effets de la position prosodique sur l'articulation linguale de la voyelle à partir de ses caractéristiques spectrales (F1, F2, F3) qui devraient refléter tout changement dans la forme du résonateur buccal.

D.2. Des mesures de la distribution du contact linguopalatal sur le palais

La distribution du contact sur le palais en fonction de la position prosodique a été étudiée en détail pour certains segments.

D2.a. Profils de contact au point de contact maximal

Pour les consonnes /n, t, k, s, l/, le profil de contact de chaque répétition au point de contact maximal (comme au point A, figure 2.14) a été relevé. Puis des profils "moyens" ont été obtenus en combinant les profils de toutes les répétitions pour chaque position. Chaque électrode ayant été activée au moins une fois lors d'une répétition de la consonne est marquée comme activée (point noir) (voir la figure 3.19 du chapitre III pour /l/, par exemple).

D2.b. Description par région

Pour décrire avec plus de précision la répartition du contact sur une partie particulière du palais, il est possible de définir des régions. La figure 2.15 présente, par consonnes, les régions considérées. Elles ont été définies ici après observation des différents profils de contact relevés pour les répétitions de chaque consonne. Ce sont les mêmes pour les deux locuteurs. Ces régions correspondent en général au lieu d'articulation de la consonne (antérieure, postérieure, latérale...) et se concentrent sur la partie du palais où j'ai pu observer que la variation entre les positions était la plus importante. Le degré de contact linguopalatal sur ces régions est calculé de la même manière que sur le palais total. Mais, dans ces cas, le pourcentage est basé sur le nombre d'électrodes inclus dans la région, 1% ne correspond donc plus à une électrode.

α . région antérieure pour /t/ et /n/

Afin de caractériser la distribution des appuis linguaux antérieurs des consonnes /n/ et /t/, une région relativement étroite est définie à l'avant du palais. Elle comprend 18 électrodes. Elle s'étend des incisives à la partie postérieure des alvéoles, c'est à dire qu'elle couvre les 5 premiers arcs sur lesquels j'ai pu observer des électrodes activées. En largeur, cette zone correspond approximativement à la largeur entre les deux incisives médianes. Pour pouvoir examiner la direction des variations articulatoires sur l'axe antéro-postérieur, cette région est subdivisée en 5 arcs (a1-a5) sur lesquels j'observerai la répartition des contacts.

β . région postérieure pour /k/

Pour décrire la distribution du contact linguopalatal à l'arrière du palais, un région postérieure est définie pour /k/. Elle comprend 21 électrodes distribuées sur les 7 lignes postérieures et sur les trois rangées centrales (la rangée sagittale médiane et les 2 rangées adjacentes). Cette région s'étend donc de la zone palatine la plus postérieure du palais artificiel à la zone pré-palatale et se concentre sur la zone centrale de la voûte palatine. Les contacts latéraux ne sont pas inclus dans la région de façon à éliminer les variations de contact sur les bords du palais qui sont fonction : de l'encrage des bords de la langue sur les dents, des variations de compression de la

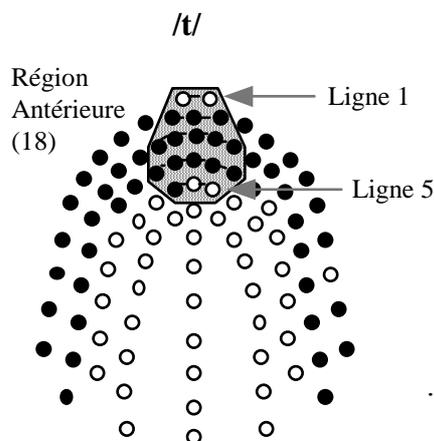
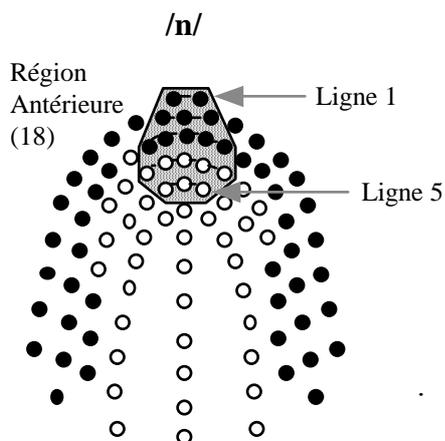
langue vers le palais, et des variations de contact dues au contexte vocalique ([a_a]). La limitation à cette zone relativement étroite vise à capturer l'avancement/rétraction du contact du dos de la langue dans cette région centrale du palais. Cette mesure se fera en comparant le pourcentage d'électrodes contactées sur chacune des lignes en fonction de la position prosodique.

Dans le groupe de consonnes /kl/, la région définie pour /k/ est légèrement différente car /k/ est plus postérieur dans ce contexte. Elle est plus petite et moins antérieure que la région définie pour /k/ isolé. Elle comprend 14 électrodes et s'étend de la ligne la plus postérieure (ligne 1) à la ligne 5 située à peu près au milieu du palais dur³³.

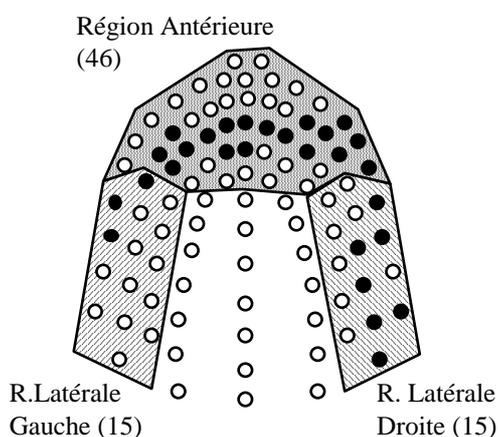
³³ La forme de la région postérieure pour /k/ dans /kl/ ne correspond pas exactement à celle de la région définie pour /k/ isolé. Elle est plus petite pour /kl/ et, à l'avant, l'électrode centrale de la ligne 5 n'est pas incluse dans la région. Cette différence vient du fait que les mesures ont été effectuées sur un type d'affichage différent pour /kl/ et que la région ainsi définie correspond mieux aux profils observés. Quoiqu'il en soit, ces différences de région ne portent pas à conséquence dans notre analyse puisque nous ne cherchons pas à comparer les /k/ isolés aux /k/ devant /l/, mais plutôt les modifications articulatoires de chacune de ces consonnes en fonction de la position prosodique.

Figure 2.15 : Représentation des régions définies pour les segments tests /n, t, l, s, k, k(l)/. Entre parenthèse est inclu le nombre d'électrodes dans chaque région. Sur le palais, les points noirs représentent un exemple de profil de contact pour chaque sons. Voir texte et chapitre Résultats pour une description plus détaillée.

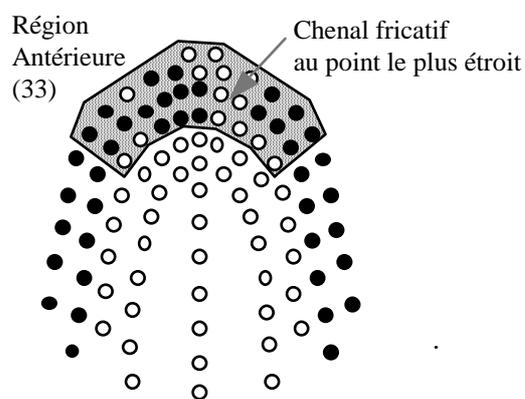
Région définie pour /n/ et /t/



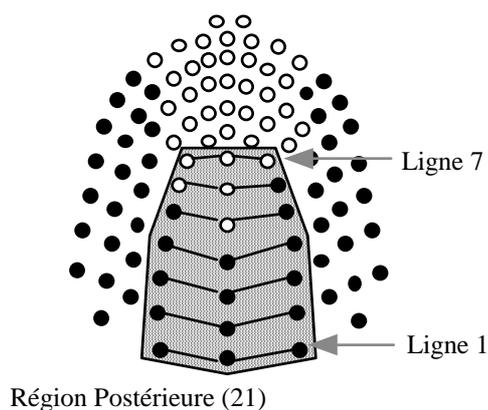
Régions définies pour /l/



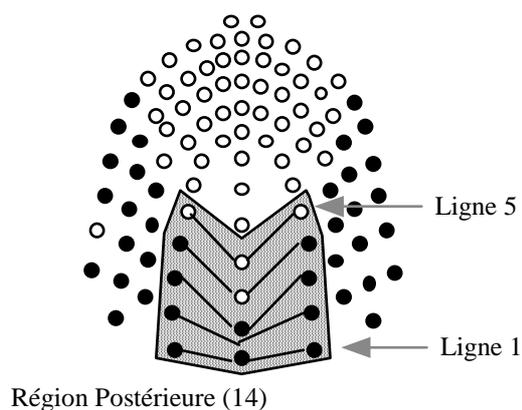
Région définie pour /s/



Région définie pour /k/



Région définie pour /k/ dans le groupe /kl/



γ. région antérieure pour /s/

Pour la consonne fricative, j'ai considéré une région antérieure du palais dans laquelle se situe le chenal fricatif. Cette région, comprend 33 électrodes réparties sur 4 arcs : de l'arc le plus antérieur, situé à mi-distance sur la face interne des incisives, au 4ème arc vers l'arrière, situé sur les alvéoles (juste sur l'angle convexe des alvéoles). Sur les cotés, cette région s'étend jusqu'aux prémolaires.

Dans cette région, j'ai examiné les caractéristiques du chenal fricatif à l'aide de deux index définis par Fletcher (1989) : *la largeur du chenal* ("Groove width") qui est définie comme la distance la plus étroite entre les bords latéraux du chenal, et la *localisation du centre du chenal* ("Groove center location") qui est la distance sur l'axe antéro-postérieur de la partie la plus étroite du chenal. A ces deux index j'ajoute une mesure de *la surface du chenal fricatif* (longueur * largeur) au point le plus étroit. Sur le profil de contact présenté pour /s/ sur la figure 2.15, le point où le chenal est le plus étroit (localisation) est situé sur le 3ème arc ; il a une largeur de 2 électrodes qui ne s'étend en longueur que sur 1 électrode, donc une surface de 2 électrodes.

δ. région antérieure et régions latérales pour /l/

L'articulation de la consonne /l/ se caractérise par une occlusion centrale alvéolaire et une contraction des ailes de la langue vers l'axe médian qui crée un passage latéral à l'arrière de l'occlusion apico-alvéolaire par lequel l'air va s'échapper (voir exemple figure 2.12) [Simon 1967]. D'après les profils de contact, trois régions ont été définies pour caractériser l'articulation de /l/ : une région antérieure et deux régions latérales.

Pour les deux locuteurs, l'occlusion centrale est alvéolaire. L'occlusion s'étend principalement sur les arcs 3, 4 et 5 qui correspondent respectivement à la partie antérieure des alvéoles, au renflement des alvéoles, et à la partie postérieure des alvéoles ou zone pré-palatale (voir les photo des palais). La région antérieure définie est un peu plus large. Elle compte 46 électrodes. Elle s'étend de la partie la plus antérieure du palais jusqu'à la zone pré-palatale (arc 6) et s'arrête sur les cotés après les prémolaires.

Sur les cotés, le passage latéral est très postérieur, au niveau des dernières molaires, et n'apparaît généralement que d'un côté : sur le coté gauche pour le locuteur 1F, et sur le coté droit pour le locuteur 2M. Les régions latérales droite et gauche comprennent 15 électrodes chacune, réparties sur les trois rangés latérales du palais au niveau des molaires (une rangée sur l'angle interne des molaires, une à la racine des molaires et une plus rapprochée du centre du palais).

Pour examiner une éventuelle variation dans l'équilibre des contacts dans les régions latérales droite et gauche pour /l/, un *index d'asymétrie* est calculé [p. ex. Marchal & Espesser 1987, Farnetani 1988, Marchal 1988]. L'index d'asymétrie représente la différence entre le nombre d'électrodes activées dans les régions latérales droite et gauche exprimée en fonction du nombre total de contacts actifs :
$$\frac{[(\text{contacts à gauche} - \text{contacts à droite}) / \text{contact total}]$$

Un index positif indique une plus grande concentration de contacts sur le coté gauche du palais, alors qu'un index négatif indique une plus grande concentration d'électrodes activées sur le coté droit; un index élevé indique une forte asymétrie de la répartition des contacts.

D.3. Une mesure temporelle : la durée de l'occlusion linguopalatale pour /t, n, k/

Nous avons vu dans l'introduction que les variations articulatoires en fonction de la position prosodique affectent non seulement les caractéristiques spatiales des articulations mais aussi leurs caractéristiques temporelles. En anglais, une augmentation de la quantité de contact linguopalatal en fonction de la position des consonnes a été trouvée associée à une augmentation de la durée de leur occlusion [p. ex. Byrd 1994, Keating & Wright 1994, Fougeron & Keating 1997]. Dans cette étude, j'ai mesuré la durée de l'occlusion linguale pour les consonnes /n/, /t/ et /k/ en observant les profils de contact successifs, entre la première image présentant une occlusion complète et la dernière image avant la cassure du barrage occlusif. Par exemple, sur la figure 2.10 présentant les profils successifs de l'articulation de /n/, la durée de l'occlusion est de 50 ms. (entre l'image 1.19 et l'image 1.24). Il faut rappeler que la fréquence d'échantillonnage des données palatographiques est de 100 Hz. Cette mesure de la durée de l'occlusion doit donc être considérées avec une erreur de 9 ms³⁴.

³⁴ Cette erreur est constante et puisque les intervalles occlusifs comparés entre les positions prosodiques sont mesurés tous de la même manière, il ne semble pas que ceci puisse être source d'erreur dans nos comparaisons.

L'EPG ne permet pas d'observer le déroulement temporel complet du mouvement de la langue. L'apparition du contact ne correspond pas au début du déplacement de la langue vers le palais, mais au point où celle-ci entre en contact avec le palais. De même, la disparition du contact médian indique le relâchement de l'occlusion linguale, mais pas la fin du mouvement de la langue. L'EPG renseigne donc uniquement sur la durée du geste d'occlusion de la langue sur le palais.

D.4. Une mesure de la coordination temporelle inter-gestes dans le groupe /kl/

En introduction, nous avons vu que la coordination temporelle pour un groupe de consonnes est plus stricte lorsque le groupe de consonnes est en position initiale dans un Mot plutôt qu'en position coda [Byrd 1994]. Lorsqu'une frontière est insérée entre les deux membres du groupe de consonnes, le chevauchement des consonnes est aussi fonction du niveau prosodique de la frontière [p. ex. Hardcastle 1985]. Dans cette étude, j'examine la coordination temporelle d'un groupe de consonnes initial dans des constituants de niveaux différents. C'est à dire que sur des groupes de consonnes précédés d'une frontière de Mot, de GA ou de GI, j'examine si la coordination entre les deux consonnes est affectée par la position du groupe.

La coordination temporelle entre les gestes associés à /k/ et à /l/ en fonction de la position prosodique du groupe sera examinée à l'aide de 3 types de paramètres :

- (a) la durée totale du groupe et de ses éléments (/k/, /l/ et de l'intervalle inter-gestes),
- (b) un indice de chevauchement mesuré entre l'apparition de l'occlusion de /l/ par rapport au début de l'occlusion de /k/ exprimé en pourcentage de la durée de /k/ [Gibbon et al. 1993]
- (c) la fréquence d'apparition de cas présentant une occlusion antérieure simultanée ou précédant le relâchement de l'occlusion arrière en fonction de la position prosodique, c'est à dire les cas présentant une double occlusion dans le tractus vocal.

Ces mesures seront expliquées plus en détail dans la partie correspondante des résultats.

IV. MESURES ACOUSTIQUES

Un troisième type de données va être examiné dans cette thèse : des mesures acoustiques. J'observe l'effet de la position prosodique sur le plan acoustique. Il ne s'agit pas de trouver les corrélats acoustiques particuliers des variations articulatoires nasale et linguale observées dans les expériences précédentes. Pour cela, il aurait fallu entreprendre une analyse acoustique plus vaste, voir une modélisation articulatoire. Ici, je n'étudierai qu'un nombre restreint de paramètres acoustiques. Ce sont des paramètres pour lesquels des modifications ont été observées (ou suggérées) dans la littérature sur les effets de la position prosodique. Ces paramètres sont : la durée acoustique, l'énergie des consonnes sonnantes, la glottalisation des voyelles. J'ai aussi observé les caractéristiques spectrales des voyelles /i/ et /a/ que je considère comme une mesure indirecte des variations articulatoires linguales.

IV.A. Durée acoustique

En Introduction, nous avons vu que dans plusieurs langues il y a un allongement des segments initiaux. Nos données sur l'anglais [Fougeron & Keating 1997] suggèrent que cet allongement initial varie en fonction du degré de frontière prosodique précédent. Dans cette étude, j'ai comparé la durée acoustique des segments test afin de déterminer si, en français, la position initiale dans des constituants de différents niveaux prosodiques est marquée par un allongement initial progressif.

A.1. Durée des voyelles /i/ et /A\$/

Le début acoustique de /A\$/ et /i/ est déterminé par l'apparition d'une périodicité ample sur le signal acoustique correspondant à la présence de formants vocaliques sur le spectrogramme. Si la voyelle est précédée d'un

intervalle glottalisé (pour /i/, voir section IV.C) cet intervalle n'est pas inclus dans ces mesures. La fin de la voyelle correspond pour /i/ à l'arrêt du formant F2. Pour /A\$, elle correspond à l'arrêt des formants supérieurs et à l'arrêt du débit d'air oral du à l'occlusion de la consonne /d/ suivante. La durée acoustique des voyelles est mesurée entre ces deux points.

A.2. Durée de /n/ et /l/

Les durées acoustiques de /n/ et /l/ sont mesurées sur le signal acoustique à partir du début des vibrations laryngées correspondant, sur un spectrogramme, à l'apparition de la barre de voisement dans les basses fréquences. Lorsque la consonne n'est pas précédée d'une pause, ce point correspond aussi à la disparition des formants supérieurs (F2, F3) de la voyelle précédente. La fin de la consonne est déterminée par l'apparition des formants supérieurs pour la voyelle suivante. Ces points correspondent pour la consonne /n/ au lettre D et H sur la figure 2.5a.

Les durées de /n/ ont été mesurées sur les signaux acoustiques collectés (1) en même temps que les données EPG pour les locuteurs 1F et 2M et (2) en même temps que les données aérodynamiques pour les locuteurs 1F, 2M, 3F et 4F. Dans le deuxième cas, le signal acoustique est filtré par le masque de Rothenberg mais sa qualité est suffisante pour effectuer les mesures.

A.3. Durée de /s/

La durée de la fricative sourde est mesurée sur un spectrogramme entre le début de l'apparition du bruit fricatif dans les hautes fréquences et l'apparition des formants supérieurs pour la voyelle suivante.

A.4. Durée de la tenue et du VOT pour /t/ et /k/

En positions Si, Mi et GAi, la consonne n'est pas précédée d'une pause (ce que je déduit d'après les données EPG et l'absence de pause pour les autres consonnes dans ces positions). La durée de la tenue de l'occlusion de /t/ et /k/ peut donc être mesurée entre l'apparition et la disparition des formants supérieurs des voyelles droite et gauche.

Le VOT des consonnes sourdes dépend de l'amplitude du geste glottal mais aussi de la coordination temporelle entre le geste d'ouverture glottale et le geste d'occlusion orale. Le VOT augmentera pour une ouverture plus ample et pour un allongement du délai entre les deux gestes. En introduction, nous avons vu que le VOT des consonnes pouvait s'allonger quand les consonnes sont au début d'un constituant supérieur. Je vérifierai si le VOT des consonnes sourdes varie en fonction de la position prosodique en français. Pour les consonnes sourdes /t/ et /k/, j'ai mesuré la durée du VOT entre le bruit de relâchement de l'occlusion et l'apparition des formants supérieurs de la voyelle suivante.

IV.B. Énergie acoustique des consonnes /n/ et /l/

Une variation dans l'énergie acoustique des consonnes sonnantes est suggérée par l'hypothèse d'une augmentation du contraste de sonorité dans les positions prosodiques supérieures. Selon cette hypothèse, une sonnante devrait avoir une énergie acoustique réduite en position initiale dans un constituant supérieur de façon à renforcer son caractère consonantique par rapport à la voyelle suivante. Dans mon étude j'ai comparé l'énergie des consonnes sonnantes /n/ et /l/ par rapport à celle de la voyelle suivante (V2) :

$$(\text{énergie de V2} - \text{énergie de /n, l/})$$

Cette mesure relative d'énergie me permet de contrôler d'éventuelles variations de niveau sonore entre les répétitions qui seraient indépendantes de la position prosodique de la consonne.

B.1. Énergie de /n/

Sur une enveloppe d'énergie calculée par CSL à partir du signal audio de l'intervalle /VnV/, j'ai mesuré les maxima d'énergie correspondant à la consonne /n/ et à V2. Par précaution, le maximum d'énergie de /n/ n'est jamais pris dans une fenêtre de 10 ms sur les bords droit et gauche de la consonne afin d'éviter de prendre une valeur qui correspondrait aux voyelles environnantes. En général, l'énergie acoustique de la consonne atteint un

plateau pendant la tenue de la consonne et le maximum se situe soit au milieu soit dans la deuxième moitié de la consonne.

Ces mesures ont été effectuées sur le signal acoustique des données EPG et des données aérodynamiques. Pour les expériences aérodynamiques, le signal acoustique est filtré dans les hautes fréquences par le masque de Rothenberg, mais comme on le verra les résultats des deux expériences présentent des tendances semblables. Pour le locuteur 4F, l'énergie des séquences /ni/ en position Gi n'a pas été mesurée car le signal acoustique était bruité.

L'énergie acoustique d'une consonne nasale dépend de l'amplitude de la source et de la quantité d'air s'échappant par le nez. Une variation du débit nasal due à une variation de l'élévation du velum pourrait donc avoir des conséquences sur l'énergie de la consonne. L'énergie de /A\$/ n'a pas été mesurée car pour une voyelle nasale l'énergie acoustique va dépendre du débit nasal mais aussi du débit oral.

B.2. Énergie de /l/

Pour la consonne /l/, l'énergie de la consonne est calculée par une mesure d'énergie moyenne (RMS) sur toute la durée de la consonne³⁵. L'enveloppe d'énergie est calculée à partir du signal acoustique. L'énergie moyenne de la consonne est exprimée relativement à l'énergie moyenne (RMS) de la voyelle suivante.

IV.C. Glottalisation de /i/

Nous avons vu qu'en anglais la position prosodique d'une voyelle affectait son articulation glottale [Pierrehumbert & Talkin 1992, Dilley et al. 1996]. Les voyelles sont plus fréquemment glottalisées en début de constituant supérieur. Dans mon corpus, j'ai vérifié si la fréquence de la glottalisation de la voyelle /i/ est aussi fonction de la position prosodique en français

En examinant le signal acoustique et le spectrogramme des voyelles /i/ produites par les locuteurs 1F et 2M dans l'expérience EPG, j'ai relevé les cas où la voyelle est glottalisée d'après les critères suivants :

- (1) la présence de pics irréguliers sur le signal bien avant le début des vibrations régulières et l'apparition des formants de la voyelle. Ces pics correspondent à des coups de glotte et se traduisent parfois par une excitation très courte dans les hautes fréquences (un double burst) au début de la voyelle.
- (2) l'irrégularité des vibrations dans le signal acoustique au début de la voyelle. Le voisement est discontinu et les formants supérieurs de la voyelle ne sont que partiellement excités.

Des exemples seront présentés dans la partie Résultats.

IV.D. Mesures spectrales pour /i/ et /a/

L'effet de la position prosodique sur l'articulation de la voyelle /a/ de la syllabe initiale /na/ a été déterminé d'après les variations des formants F1 et F2 de cette voyelle. Cette analyse a pour objectif de voir si la position prosodique affecte seulement le segment initial (la consonne) ou s'étend sur la voyelle suivante. Puisque la voyelle /a/ est très ouverte et qu'elle a peu de contact linguopalatal, des variations d'articulation linguale ne vont pas apparaître clairement sur le palais. J'utilise la mesure des caractéristiques spectrales de la voyelle comme une mesure indirecte des variations d'articulation linguale. Ces résultats seront donc présentés dans la partie des résultats concernant l'articulation linguale (chap. III.B) et non dans la partie acoustique.

Pour la voyelle /i/, l'observation des formants F1, F2 et F3 est aussi une mesure indirecte des variations articulatoires en fonction de la position prosodique. Ces résultats seront présentés avec les variations de degré de contact linguopalatal. Pour cette voyelle une modélisation articulatoire sera effectuée pour comprendre les variations observées.

³⁵ Pour la consonne /n/, je ne présenterai que les mesures d'énergie relevées au point où l'énergie est maximale pendant la consonne. Pour les données de l'expérience EPG, j'ai également relevé l'énergie moyenne (RMS) calculée sur toute la durée de la consonne. Les résultats avec ce type de mesure sont similaires à ceux présentés pour les maxima d'énergie. Pour la consonne /l/, je n'ai relevé que l'énergie moyenne (RMS) de la consonne car ces données étaient plus simples à acquérir.

V. TESTS STATISTIQUES

Pour chaque paramètre étudié (articulatoire ou acoustique), les comparaisons statistiques entre les différentes positions prosodiques ont été faites à l'aide d'un test ANOVA à un facteur ("positions"). Puis des comparaisons par paire entre les positions ont été effectuées à l'aide d'un test post-hoc Fisher PLSD avec un niveau de significativité à 95%. Dans cette étude, je considère qu'une position est statistiquement différente des autres positions si elle se différencie de manière significative de toutes les autres positions examinées. Ainsi lorsque je présenterai un résultats du type : $S_i <^* M_i <^* G_{Ai}$, cela signifie que, pour le paramètre étudié (ex. degré de contact) :

- la position S_i est significativement plus faible que la position M_i . Elle est aussi significativement plus faible que la position G_{Ai} .
- la position M_i est significativement plus forte que la position S_i et significativement plus faible que la position G_{Ai} .
- la position G_{Ai} est significativement plus forte que la position M_i et que la position S_i .

Un récapitulatif des segments test, des techniques d'investigation articulatoire, des positions prosodiques et des locuteurs utilisés dans cette étude est donné dans le tableau II.9.

Tableau II.9 : Tableau récapitulatif des segments étudiés. Types de segments (C consonne, V voyelle, CC groupe de consonnes), segment test, technique d'investigation articulatoire, contexte segmental, nombre de positions prosodiques examinés, positions étudiées et locuteurs.

segment	technique	contexte	# position	Pi	G _{Li}	G _{Ai}	M _i	S _i	Locuteurs
C	/n/	débit nasal	/ana/	4		√	√	√	1F, 2M, 3F, 4F
	/n/	débit nasal	/ini/	4		√	√	√	1F, 2M, 3F, 4F
	/n/	EPG	/ana/	5	√	√	√	√	1F, 2M
	/t/	EPG	/O\$tO\$/	5	√	√	√	√	1F, 2M
	/s/	EPG	/asa/	5	√	√	√	√	1F, 2M
	/l/	EPG	/ala/	4		√	√	√	1F, 2M
	/k/	EPG	/aka/	3		√	√	√	1F, 2M
CC	/kl/	EPG	/akla/	3		√	√	√	1F, 2M
V	/i/	EPG	/pip/	3		√	√	√	1F, 2M
	/A\$/	débit nasal	/kA\$d/	3		√	√	√	1F, 2M, 3F, 4F

CHAPITRE III : VARIATIONS DE L'ARTICULATION LINGUALE DES CONSONNES ET VOYELLES EN FONCTION DE LA POSITION PROSODIQUE : DONNÉES ÉLECTROPALATOGRAPHIQUES ET SPECTRALES

I. VARIATIONS ARTICULATOIRES SUR LE SEGMENT INITIAL DU GROUPE PROSODIQUE : CONSONNES ET VOYELLES SIMPLES

I.A. Les occlusives /n/, /t/ et /k/

A.1. Quantité de contact linguopalatal

Pour les consonnes occlusives, le contact linguopalatal est mesuré pendant l'occlusion linguale des consonnes au point où le contact est maximal. A ce point, le nombre d'électrodes contactées est exprimé en pourcentage sur les 96 électrodes du palais.

La comparaison entre les différentes positions prosodiques montre que, pour les deux locuteurs et les trois occlusives /n, t, k/, le degré de contact linguopalatal varie en fonction de la position de la consonne. Les figures 3.1, 3.2 et 3.3 illustrent cette variation en présentant le degré de contact linguopalatal moyenné sur les 20 répétitions des consonnes /n/, /t/, et /k/ respectivement, placées dans les différentes positions prosodiques examinées. Le tableau III-1 présente les résultats statistiques des comparaisons entre positions effectuées par un test ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paires effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD avec un niveau de significativité de 95%. Une position est considérée comme statistiquement distincte des autres positions si elle se différencie de *toutes* les autres positions examinées. Je ne parlerai ici que des différences statistiquement significatives.

A1.a. Occlusive antérieure /n/

Pour la consonne /n/ (figure 3.1), le degré de contact varie en fonction de la position prosodique. Les comparaisons post-hoc montrent que pour les deux locuteurs ce degré de contact linguopalatal diffère entre toutes les positions prosodiques, sauf entre les positions GLi et Pi. Il y a une augmentation progressive du contact linguopalatal de la position prosodique la plus basse (Si) aux positions les plus élevées (GLi et Pi) : les consonnes /n/ en début de Syllabe ont moins de contacts que les /n/ en début de Mot, les /n/ en début de Mot ont moins de contacts que les /n/ en début de Groupe Accentuel, et ces derniers ont moins de contacts que les consonnes en début de Groupe Intonatif ou en début de Phrase. Les /n/ en début de Groupe Intonatif ont le même degré de contact que les /n/ en début de Phrase. Ainsi, pour les deux locuteurs, le degré de contact linguopalatal permet de différencier de manière significative les /n/ placés à quatre positions prosodiques différentes : Si, Mi, GAi, et GLi/Pi.

Tableau III.1 : Degré de contact des consonnes /n/, /t/ et /k/. Comparaisons entre positions prosodiques. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "" = $p < 0,05$.*

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
/n/	F(4,95)=81,6; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi <* GLi, Pi	F(4,91)=111,4; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi <* GLi, Pi
/t/	F(4,97)=49,4; p=0,0001 Si <* GAi <* GLi, Pi	F(4,97)=85,5; p=0,0001 Si, Mi <* GAi <* Pi <* GLi
/k/	F(2,44)=25,9; p=0,0001 Mi <* GAi <* GLi	F(2,42)=49,2; p=0,0001 Mi, GAi <* GLi

Figure 3.1 : Degré de contact linguopalatal pour /n/ en fonction de la position prosodique. Exprimé en % d'électrodes contactées sur tout le palais. Les abréviations utilisées pour décrire les positions prosodiques, dans cette figure et dans les suivantes, sont : Si pour position initiale de Syllabe, Mi pour position initiale de Mot, GAi pour position initiale de Groupe Accentuel, GLi pour position initiale de Groupe Intonatif, Pi pour position initiale de Phrase.

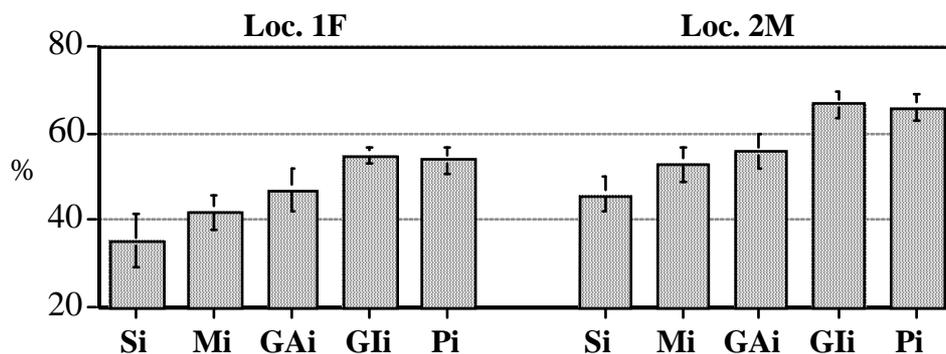


Figure 3.2 : Degré de contact linguopalatal pour /t/ (cf. légende de la figure 3.1)

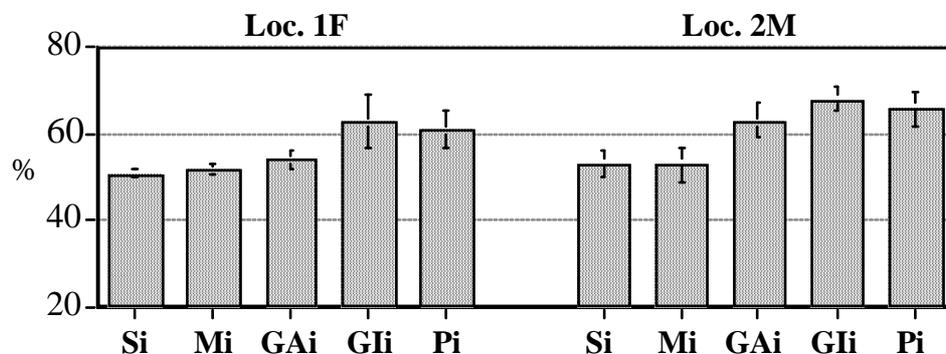
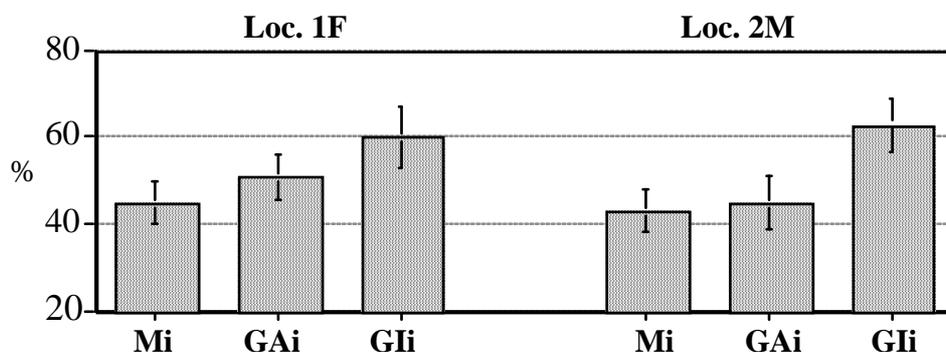


Figure 3.3 : Degré de contact linguopalatal pour /k/ (cf. légende de la figure 3.1)



A1.b. Occlusive antérieure /t/

La consonne /t/ (figure 3.2) présente également une variation significative du degré de contact linguopalatal en fonction de la position prosodique. La tendance est similaire à celle observée pour la consonne /n/, à savoir, le degré de contact augmente de la position prosodique la plus basse à la position la plus haute. Pourtant pour /t/, le nombre de positions distinguées par une variation de contact linguopalatal est moins important que pour /n/. Pour le locuteur 1F, seules trois positions sont différentes : les /t/ en début de Syllabe ont moins de contacts que les /t/ en début de Groupe Accentuel et ceux-ci ont moins de contacts que les /t/ en début de Groupe Intonatif ou en début de Phrase. Les /t/ en début de Mot ont un degré de contact intermédiaire entre ceux en début de Syllabe et ceux en début de Groupe Accentuel. Pour le locuteur 2M, quatre positions se différencient : les /t/ en début de

Syllabe et en début de Mot ont moins de contacts que les /t/ en début de Groupe Accentuel, ceux-ci ont moins de contacts que les /t/ en début de Phrase, et ces derniers ont encore moins de contacts que les /t/ en début de Groupe Intonatif. Pour ce locuteur, il n'y a pas donc pas de différence entre le début de Syllabe et le début de Mot, mais une distinction entre le début de Groupe Intonatif et le début de Phrase qui ne va pas dans le sens de la hiérarchie entre les constituants ($P_i < G_{Li}$).

A1.c Occlusive postérieure /k/

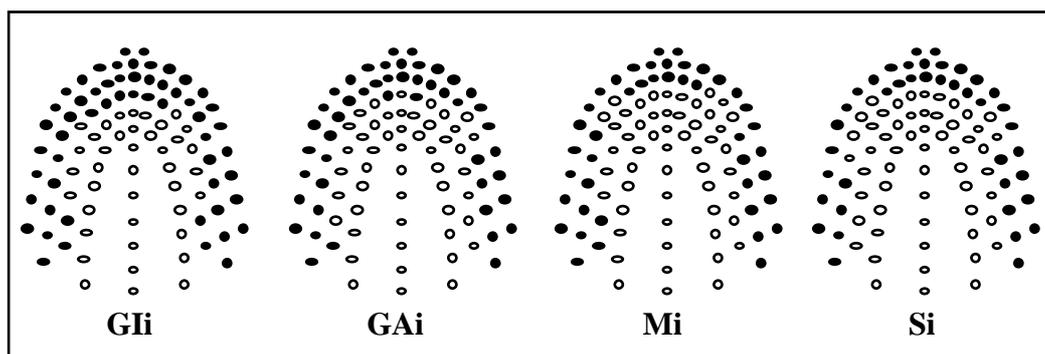
Pour la vélaire /k/ (figure 3.3), seules trois positions prosodiques sont examinées : le début de Mot, le début de Groupe Accentuel et le début de Groupe Intonatif. Il faut rappeler que pour la consonne vélaire, le contact linguopalatal que l'on peut observer est limité à la surface du palais artificiel, c'est à dire au palais dur. Il est possible que l'occlusion linguale s'étende au delà du palais artificiel vers le palais mou.

Pour la consonne /k/, on retrouve encore une variation significative du contact linguopalatal en fonction de la position prosodique. Pour le locuteur 1F, les trois positions sont statistiquement différentes avec un degré de contacts plus faible en début de Mot qu'en début de Groupe Accentuel, et un degré moindre en début de Groupe Accentuel qu'en début de Groupe Intonatif. Pour le locuteur 2M, les /k/ en début de Mot et de Groupe Accentuel ont moins de contacts activés que les /k/ en début de Groupe Intonatif. En début de Mot, les /k/ ont moins de contacts que les /k/ en début de Groupe Accentuel mais cette différence n'est pas significative ($p=0,05$). Ainsi, pour un locuteur, les trois positions prosodiques se distinguent de manière significative par le degré de contact linguopalatal, alors que pour le second locuteur seuls deux positions sont différenciées.

A.2. Distribution du contact linguopalatal sur le palais

Pour les trois consonnes occlusives, il y a une augmentation du contact linguopalatal des positions prosodiques basses vers les positions prosodiques hautes. Dans cette section, il s'agira d'examiner comment la position prosodique affecte la distribution des appuis linguaux en termes de localisation et d'étendue de la constriction linguale sur le palais.

Figure 3.4 : Exemples de profils de contact aux 4 positions prosodiques examinées pour une répétition de /n/ produite par le locuteur 1F. Les points noirs représentent les électrodes contactées. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)



A2.a. Occlusives antérieures /n/ et /t/

Pour les consonnes antérieures, une augmentation du nombre d'électrodes contactées en fonction de la position prosodique peut résulter d'une augmentation des contacts latéraux et/ou des contacts antérieurs au niveau de la constriction alvéodentale. La figure 3.4 présente des exemples de profils de contact pour une répétition de /n/ aux quatre positions prosodiques Si, Mi, GAi et GLi, produits par le locuteur 1F. Sur ces exemples, il apparaît que la variation dans le degré de contact se situe principalement à l'avant du palais, alors que les appuis latéraux de la langue sur les molaires sont un peu plus stables. Sur les bords latéraux du palais, une variation dans le degré de contact peut être fonction de l'influence coarticulatoire vocalique sur l'élévation de la langue. S'il y a plus de coarticulation entre consonne et voyelle à certaines positions, alors la langue peut être plus abaissée

pendant la production de la consonne sous l'influence ouvrante de /a/ (ou /O\$/ pour /t/). Une variation de contact sur les bords latéraux du palais sera aussi fonction de l'élévation globale de la langue pour l'articulation apico-dentale de la consonne, ceci indépendamment du contexte vocalique. En effet, pour une constriction apicale plus importante à certaines positions prosodiques, toute la masse de la langue va s'élever, et les appuis latéraux vont s'élargir.

Pour éliminer des variations de contact dues à l'influence contextuelle vocalique, j'examinerai, dans cette section, les variations de contact localisées dans la région antérieure du palais. C'est à dire, des variations plus spécifiques à l'articulation consonantique : les variations dans l'articulation de la pointe de la langue³⁶.

Les variations dans l'étendue et la localisation de la constriction antérieure peuvent être de deux sortes :

- 1- Il peut y avoir un déplacement du point d'articulation par un déplacement de la langue vers l'avant ou vers l'arrière. Dans ce cas, la localisation du contact va se déplacer sur l'axe antéro-postérieur, avec peu ou pas de conséquence sur la largeur de la constriction. Dans le cas d'un déplacement de la langue vers l'avant, les observations seront restreintes par la limite antérieure du palais artificiel.
- 2- Il peut y avoir un maintien de la place d'articulation de l'occlusion mais une variation dans le degré de constriction de la langue sur le palais. Si la surface de la langue en contact avec le palais varie, alors l'étendue de la constriction linguopalatale va changer. Par exemple, une plus grande élévation de la masse de la langue vers le palais provoquera une augmentation de la compression des tissus contre le palais, donc un élargissement de la constriction. L'étendue de la constriction peut aussi résulter d'une variation dans la partie de la langue, pointe ou lame, en contact avec le palais : constriction étroite pour une articulation dento-apicale, constriction large pour une articulation dento-laminale.

Afin de caractériser la distribution des appuis linguopalataux antérieurs des consonnes /n/ et /t/, une région relativement étroite est définie à l'avant du palais. Cette région antérieure est illustrée sur la figure 3.5. Sur l'axe antéro-postérieur, elle couvre les 5 premiers arcs (a1-a5), sur lesquels j'ai pu observer des contacts linguopalataux. Elle s'étend des incisives à la partie postérieure des alvéoles. En largeur, cette zone correspond approximativement à la largeur entre les deux incisives médianes. Dans cette région antérieure, le pourcentage d'électrodes activées est calculé sur chaque arc d'électrodes en fonction de la position prosodique de la consonne. Les figures 3.6 pour /n/, et 3.7 pour /t/, représentent schématiquement la distribution des contacts dans la région antérieure du palais. Le pourcentage moyen (sur 20 répétitions) d'électrodes contactées sur chaque arc est indiqué pour chaque position prosodique et les variations dans la répartition des contacts sont illustrées par différents niveaux de gris correspondant à ces pourcentages.

³⁶ Les déplacements de la pointe de la langue sont aussi influencés par la position de la masse de la langue, donc par l'articulation vocalique, mais en comparaison avec le corps de la langue, l'articulation apicale est une caractéristique plus spécifique à l'articulation consonantique.

Figure 3.5 : Région antérieure (cadre grisé) définie pour /n/ et /t/. Entre parenthèses est indiqué le nombre d'électrodes incluses dans la région. Les électrodes en noir donnent un exemple de profil de contact pour un /n/ produit par le locuteur 2M en position GAi et pour un /t/ produit par le locuteur 1F en position GAi. La photo des palais des deux locuteurs est présentée en dessous pour comparaison.

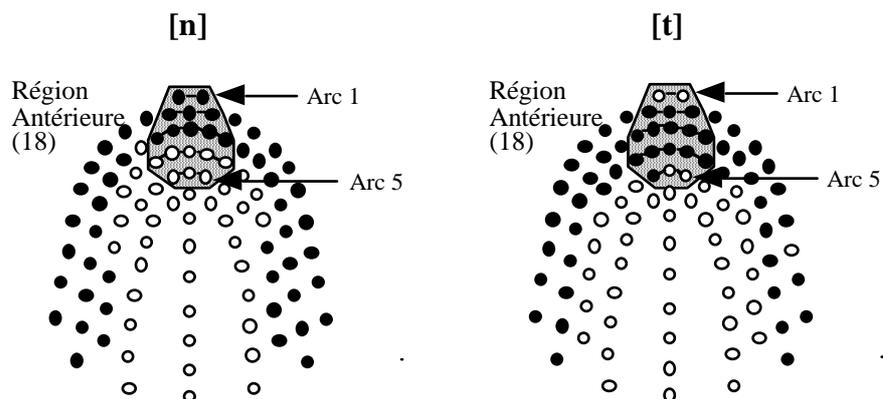


Tableau III.2 : Degré de contact sur chaque arc dans la région antérieure pour /n/ et /t/. Résultats statistiques des comparaisons entre positions prosodiques. Comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$. L'arc 1 est l'arc le plus antérieur.

	/n/		/t/	
	Locuteur 1F	Locuteur 2M	Locuteur 1F	Locuteur 2M
arc 1	ns.	Si <* Mi, GAi, GLi, Pi	Si, Mi, GAi <* GLi, Pi	ns.
arc 2	ns.	Mi <* GAi, GLi, Pi	Si <* Mi, GAi, GLi, Pi	ns
arc 3	Si <* Mi, GAi, GLi, Pi	Mi <* GAi, GLi, Pi Si <* GLi, Pi	ns.	ns.
arc 4	Si, Mi <* GAi <* GLi, Pi	Si, Mi, GAi <* GLi, Pi	ns.	Si <* Mi <* GAi, GLi, Pi
arc 5	Si, Mi, GAi <* GLi, Pi	ns.	Si, Mi <* GAi <* GLi, Pi	Si, Mi, GAi <* GLi

Figure 3.6 : Distribution des contacts pour /n/ sur la région antérieure du palais en fonction de la position prosodique. Sur chaque arc d'électrodes est noté le % moyen d'électrodes contactées lors des 20 répétitions de la consonne. Les différents niveaux de gris illustrent ces différences de % d'électrodes contactées. Les petits points noirs indiquent la position des électrodes et non les électrodes activées. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

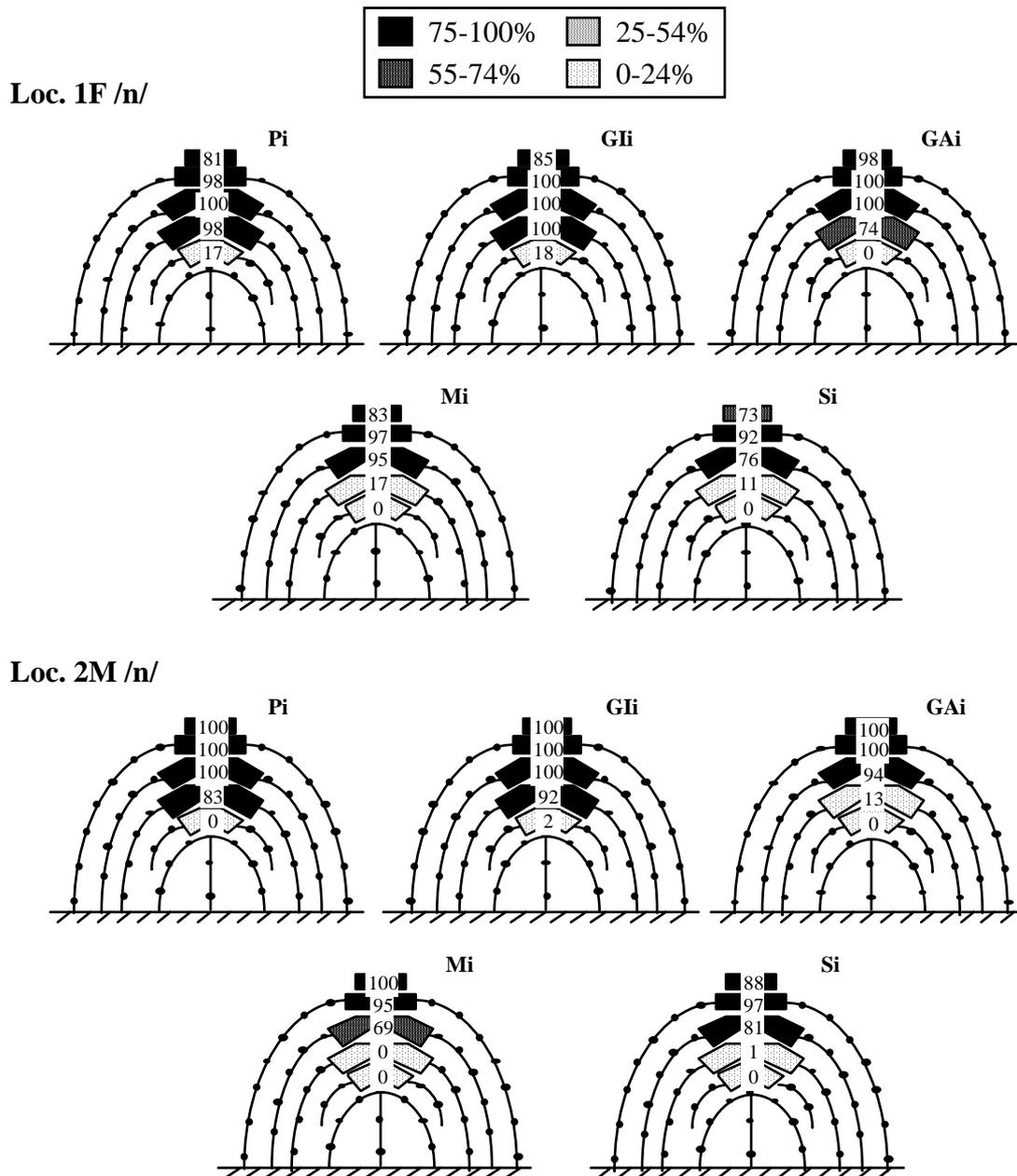
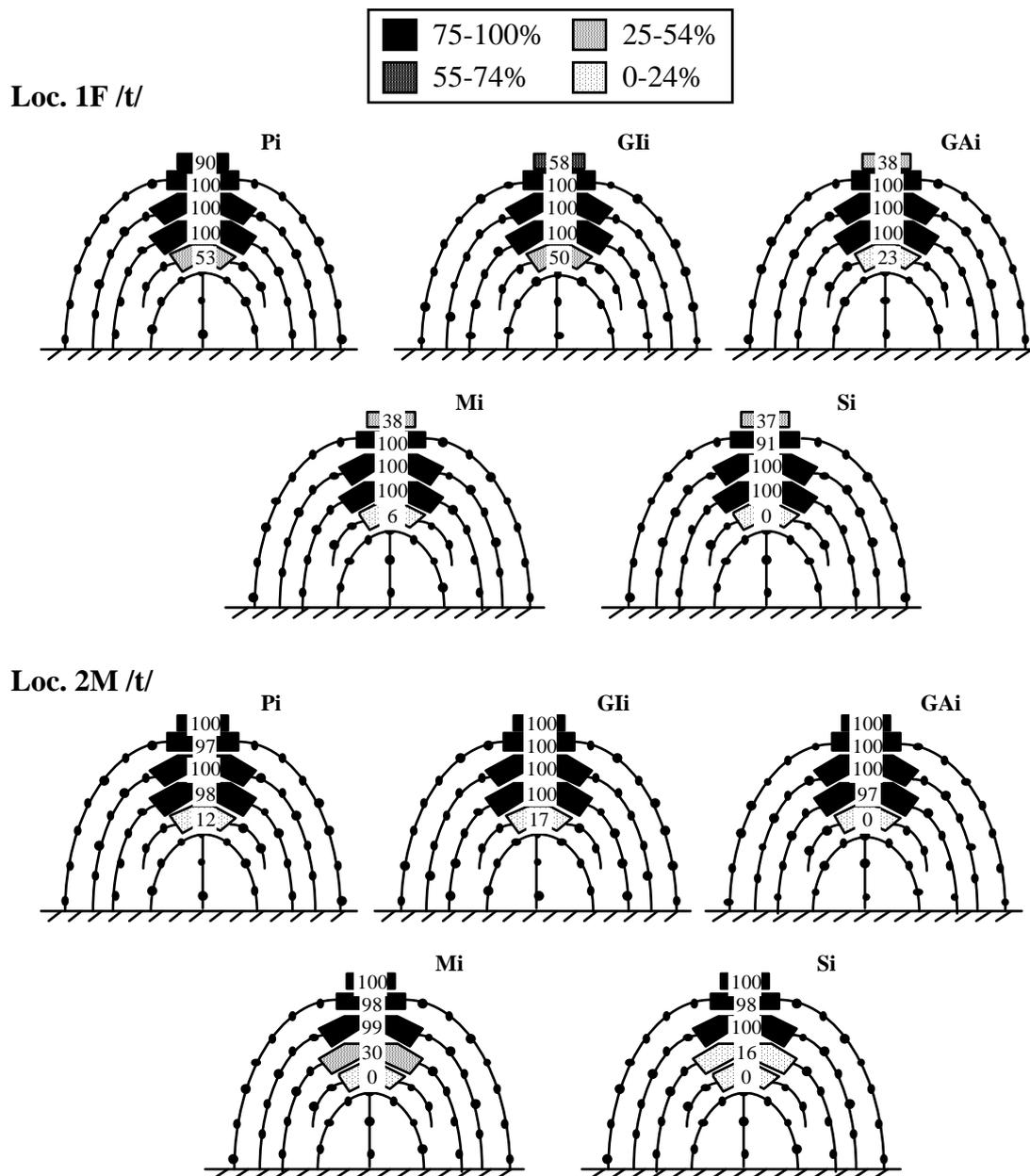


Figure 3.7 : Distribution des contacts pour /t/ sur la région antérieure du palais en fonction de la position prosodique. Sur chaque arc d'électrodes est noté le % moyen d'électrodes contactées lors des 20 répétitions de la consonne. Les différents niveaux de gris illustrent ces différences de % d'électrodes contactées. Les petits points noirs indiquent la position des électrodes et non les électrodes activées. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)



Pour les deux consonnes, il y a une augmentation progressive du contact linguopalatal dans la région antérieure entre les différentes positions prosodiques. Globalement, la constriction linguopalatale est plus large dans les positions hautes que dans les positions basses. Cet élargissement de l'occlusion se fait par une augmentation du contact, parfois vers l'avant, mais surtout vers l'arrière du palais. La significativité des comparaisons entre les différentes positions en termes de pourcentage de contact sur chaque arc est donnée dans le tableau III-2.

- Pour /n/, le pourcentage d'électrodes contactées sur les deux premiers arcs du palais ne varie pas en fonction de la position prosodique pour le locuteur 1F. Pour le locuteur 2M, seule la position Si se distingue des

autres positions par moins de contacts sur l'arc 1 et la position Mi se distingue par moins de contacts sur l'arc 2 que les positions GAi, GIi, et Pi.

Sur les arcs d'électrodes plus postérieurs (3 à 5), par contre, la concentration de contacts permet de distinguer clairement les différentes positions. Pour le locuteur 1F, il y a une extension progressive du contact sur les arcs 3, 4, et 5, des positions les plus basses aux positions les plus hautes : sur l'arc 3, il y a plus de contacts pour les positions supérieures à Si ; sur l'arc 4, la concentration d'électrodes augmente progressivement des positions Si-Mi à la position GAi, puis aux positions GIi-Pi ; sur l'arc 5, il y a plus de contacts pour les positions Pi et GIi par rapport aux positions inférieures GAi, Mi, et Si. Pour le locuteur 2M, l'augmentation progressive du contact se fait sur les arcs 3 et 4 : sur l'arc 3, il y a plus de contacts pour les positions supérieures à Mi et Si (bien que la différence entre Si et GAi ne soit pas significative) ; sur l'arc 4, il y a plus de contacts pour les positions supérieures à Si, Mi et GAi.

- Pour /t/, l'élargissement du contact vers l'avant et vers l'arrière du palais dépend du locuteur. Pour le locuteur 1F, la constriction est stable et maximale sur les arcs 3 et 4 aux cinq positions. Le contact s'étend progressivement vers l'avant en fonction de la position prosodique : plus de contacts sur l'arc 2 pour les positions supérieures à Si ; plus de contacts sur l'arc 1 pour les positions supérieures à Si, Mi et GAi. A l'arrière de la région antérieure (arc 5), l'occlusion s'étend progressivement des positions Si et Mi à la position GAi, puis aux positions GIi et Pi. Pour le locuteur 2M, il n'y a pas de progression du contact vers l'avant du palais. L'occlusion est stable et maximale sur les trois arcs antérieurs (a1, a2, a3). La différence de contact entre les positions se fait par l'élargissement de la constriction vers l'arrière sur les arcs 4 et 5 : l'occlusion s'étend progressivement de la position Si à la position Mi, puis aux positions supérieures (GAi, GIi, Pi) sur l'arc 4 ; l'occlusion atteint l'arc 5 uniquement pour les positions GIi et Pi.

A2.b. Occlusive postérieure /k/

D'après ses clichés cinéradiographiques, Simon (1967) explique que, pour la consonne /k/, le dos de la langue est bien arrondi ; après un début de contact occlusif, la langue s'étale sur la voûte palatine en avant et en arrière ; puis dans un troisième temps, glisse vers l'avant. Les données palatographiques permettent d'observer qu'au delà du plan sagittal médian, les bords de la langue sont bien en appui, comme ancrés, sur les bords latéraux du palais et sur les molaires [voir aussi Marchal 1988]. Mais l'examen palatographique des consonnes vélaires est souvent problématique car le palais artificiel s'arrête à la limite postérieure du palais dur (quelque fois avant). L'EPG ne donne donc qu'une information partielle du contact si l'occlusion s'étend plus en arrière³⁷. Dans mes données, le degré de contact pour /k/ est particulièrement large sur le palais dur. La figure 3.8 présente le profil "moyen" du contact linguopalatal de /k/ à chaque position prosodique pour les deux locuteurs. Ce profil "moyen" est obtenu en additionnant les profils de contacts des 15 répétitions de la consonne, relevés au point où le contact est maximum. Chaque électrode activée au moins une fois est marquée par un rond noir. Il apparaît clairement sur ces profils que le contact s'étend sur une grande partie du palais dur et sur les bords latéraux du palais. A l'arrière du palais, l'occlusion est complète bien que pour certaines répétitions, la dernière électrode sagittale médiane n'a pas toujours été activée. Il est possible que le contact s'étende plus vers l'arrière. Mes observations ne sont donc valables que pour le contact qui apparaît sur le palais artificiel.

L'augmentation du degré de contact pour /k/ se traduit une augmentation du contact vers l'avant du palais. La figure 3.8 montre que pour le locuteur 1F, par exemple, le contact en début de Mot se distribue sur la zone postérieure de la voûte palatale et se développe en arc sur les bords latéraux du palais. En début de GA, le profil de contact se différencie par une augmentation du contact sur les bords latéraux de la voûte palatale et dans la partie médiane du palais. En début de GI, l'avancée du contact est flagrante lorsque l'on observe la rangée d'électrodes médiane où le contact s'étend très en avant vers la zone pré-palatale.

Pour décrire cette avancée progressive du contact, une région postérieure est définie sur le palais. Celle-ci est présentée sur la figure 3.9a.

³⁷ Le lieu d'articulation des vélaires /k/ et /g/ est fortement affecté par le contexte vocalique. Ces consonnes sont soit palatales devant les articulations les plus antérieures (comme /j,i,e/), soit vélaires, soit palato-vélaires [Simon 1967, Haden 1938]. La variation du lieu d'articulation est aussi lié aux sujets.

Figure 3.8 : Profils moyens de contact linguopalatal pour /k/ aux 3 positions prosodiques examinées. Les points noirs représentent les électrodes ayant été contactées pour au moins une des 15 répétitions de la consonne à chaque position. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

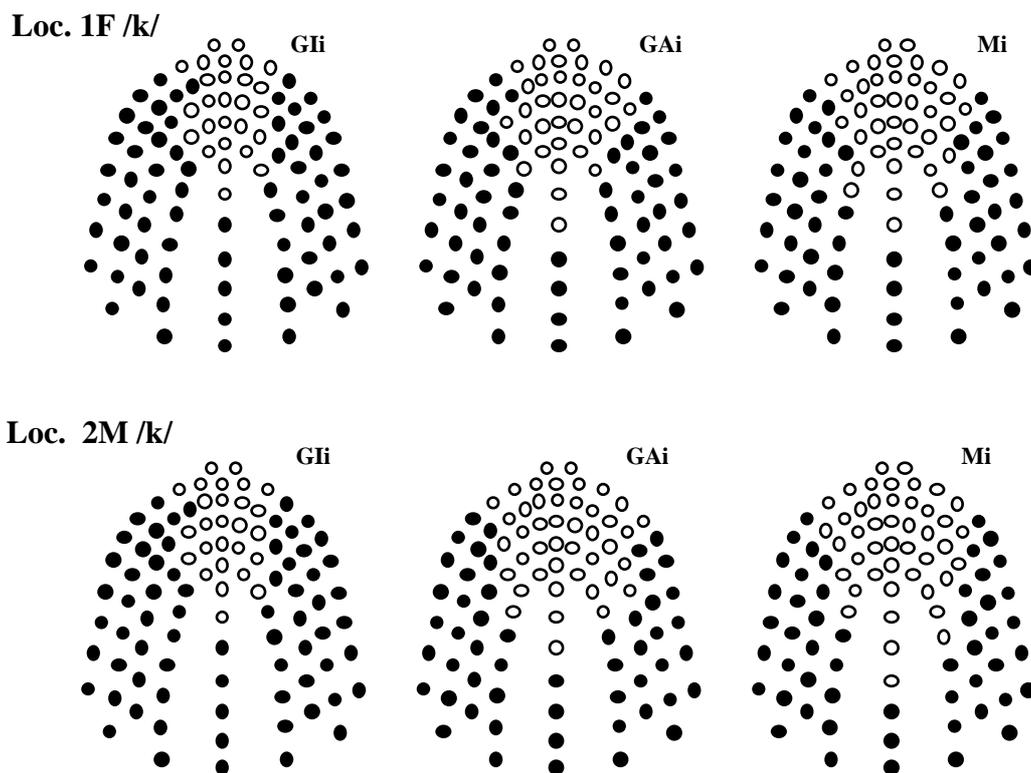
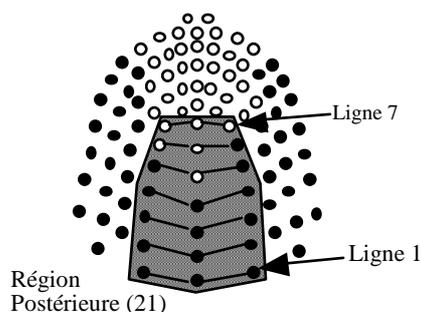


Figure 3.9a : Région postérieure (cadre grisé) définie pour /k/. Entre parenthèses est indiqué le nombre d'électrodes incluses dans la région. Les électrodes en noir donnent un exemple de profil de contact pour un /k/ produit par le locuteur 2M en position Gii.



Cette région comprend 21 électrodes distribuées sur les 7 lignes postérieures et sur les trois rangées centrales (la rangée sagittale médiane et les 2 rangées adjacentes). Cette région s'étend donc de la zone palatine la plus postérieure du palais artificiel à la zone pré-palatine et se concentre sur la zone centrale de la voûte palatine. Les contacts latéraux ne sont pas inclus dans la région de façon à éliminer les variations de contact sur les bords du palais qui sont fonction : de l'encreage des bords de la langue sur les dents, des variations de compression de la langue vers le palais, et des variations de contact dues au contexte vocalique (/a_a/). La limitation à cette zone relativement étroite vise à capturer l'avancement/rétraction du contact du dos de la langue dans cette région centrale du palais. Le nombre d'électrodes contactées est mesuré sur chaque ligne dans cette région postérieure. Le pourcentage moyen d'électrodes activées (sur les 15 répétitions) est indiqué par ligne sur la figure 3.9b. Les différences dans la distribution du contact sont également indiquées par les différents niveaux de gris correspondant à ces pourcentages. La significativité des comparaisons entre les différentes positions en termes de pourcentage de contacts sur chaque ligne est donnée dans le tableau III-3.

- Pour les deux locuteurs, la distinction entre les différentes positions prosodiques se fait à l'avant, sur les lignes 3 à 7. Pour le locuteur 1F, le contact augmente progressivement de la position Mi aux positions GAi et GLi sur les lignes 3 et 4 ; et des positions Mi et GAi à la position GLi sur les lignes 5, 6, 7. Pour le locuteur 2M, seules deux positions se distinguent par l'avancée du contact : le contact augmente des positions Mi et GAi vers la position GLi sur les lignes 3 à 6. Les /k/ en début de GA ont en moyenne plus de contact que les /k/ en début de Mot sur les lignes 4 et 5, mais ces différences ne sont pas significatives.

La distribution du contact linguopalatal dans la région postérieure du palais reflète donc les distinctions observées pour le degré de contact sur la totalité du palais (I.1.γ). Le locuteur 1F distingue trois positions prosodiques par une augmentation de contact linguopalatal et cette augmentation se traduit par une avancée progressive du contact vers l'avant du palais. Pour le locuteur 2M, l'augmentation et l'avancée du contact ne distinguent que les positions inférieures Mi et GAi de la position la plus haute GLi.

Figure 3.9b : Distribution des contacts pour /k/ sur la région postérieure du palais en fonction de la position prosodique. Sur chaque ligne d'électrodes est noté le % moyen d'électrodes contactées lors des 15 répétitions de la consonne. Les différents niveaux de gris illustrent ces différences de % d'électrodes contactées. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

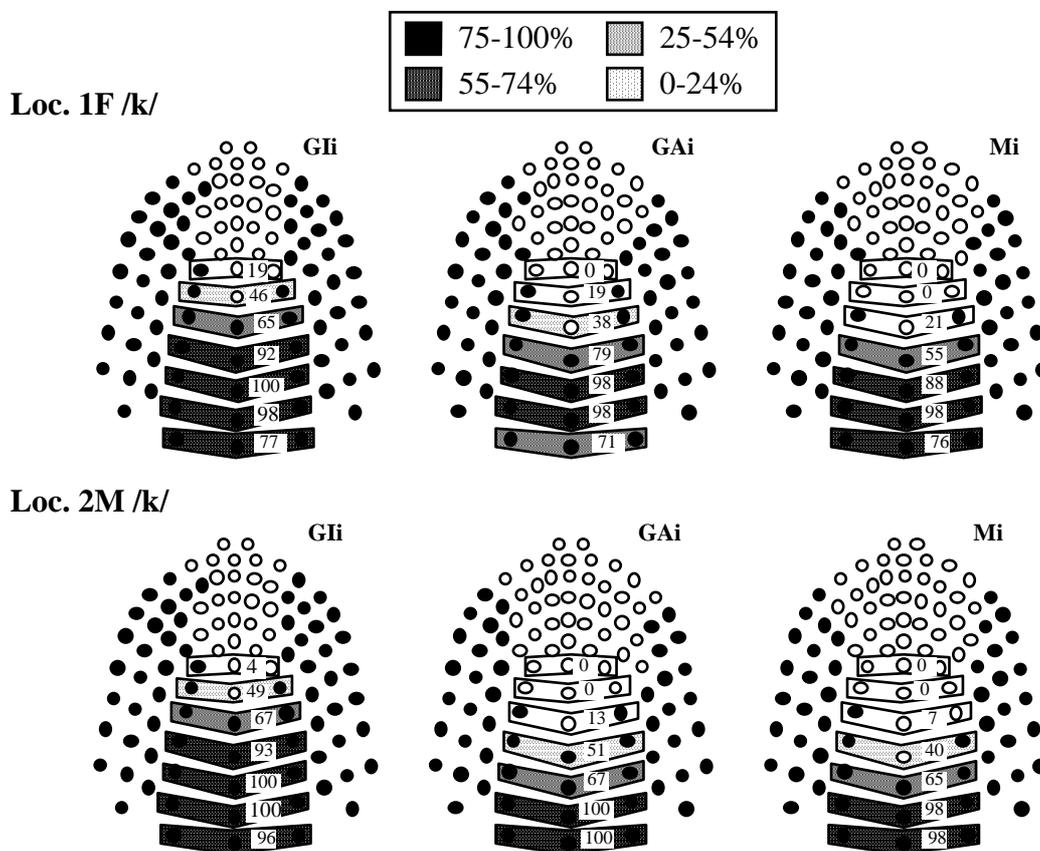


Tableau III.3 : Degré de contact sur chaque ligne dans la région postérieure pour /k/. Résultats statistiques des comparaisons entre positions prosodiques. Comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$. La ligne 1 est la ligne la plus postérieure.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
ligne 1	ns.	ns.
ligne 2	ns.	ns.
ligne 3	Mi <* GAi, GLi	Mi, GAi <* GLi
ligne 4	Mi <* GAi, GLi	Mi, GAi <* GLi
ligne 5	Mi, GAi <* GLi	Mi, GAi <* GLi
ligne 6	Mi, GAi <* GLi	Mi, GAi <* GLi
ligne 7	Mi, GAi <* GLi	ns.

En résumé, la variation articulatoire des consonnes occlusives en fonction de la position prosodique se traduit par un élargissement de la constriction linguale. L'examen de la distribution du contact sur la région antérieure du palais pour /t/ et /n/ suggère qu'il n'y a pas de déplacement de l'articulation vers l'arrière. Bien que la surface de contact s'élargisse vers le centre du palais, cette postériorisation ne s'accompagne pas d'une diminution de contact sur les arcs d'électrodes antérieurs. Le contact ne diminue jamais à l'avant pour se déplacer vers l'arrière. En contrepartie, les données EPG ne me permettent pas de dire s'il y a un déplacement de la pointe de la langue vers l'avant car les observations sont restreintes par la limite antérieure du palais artificiel. Le contact linguopalatal peut s'étaler vers l'avant du palais (visible pour le /t/ du loc. 1F, par ex.) au delà de la limite antérieure du palais artificiel. Ceci ne veut pas dire pourtant que la consonne a un lieu d'articulation plus antérieur car cette augmentation de contact est toujours associée à un élargissement de la surface d'occlusion vers l'arrière. Pour la consonne postérieure /k/, l'augmentation du degré de contact en position supérieure se traduit par un élargissement de la surface d'occlusion vers l'avant. Le contact reste maximal sur les lignes d'électrodes arrières et progresse sur les lignes d'électrodes placées dans la région centrale du palais. Il ne m'est pas possible de dire si cet élargissement de l'occlusion est associé à un mouvement de la langue vers l'avant car mes observations sont limitées au bord postérieur du palais artificiel.

Pour les occlusives antérieures et postérieures, il semble plus probable que l'élargissement du contact résulte d'une augmentation de la surface de la langue en contact avec le palais. Si la langue est plus élevée dans les positions prosodiques supérieures, sa constriction contre le palais va augmenter. La compression des tissus contre le palais sur lequel elle s'appuie va être plus forte et la surface de contact va s'élargir. Pour les consonnes antérieures, il est aussi possible que la partie de la langue (pointe ou lame) en contact avec le palais soit différente en fonction de son élévation. Si l'articulation est apico-dentale en position inférieure, la surface de contact sera plus étroite et si elle est lamino-dentale en position supérieure, la surface sera plus large. L'augmentation de la surface de contact linguopalatal sous l'effet d'une élévation supplémentaire de la masse de la langue et/ou un rétrécissement de l'angle des maxillaires a été montrée entre autres par Rousselot (1901) et Straka (1963).

A.3. Durée du geste d'occlusion

Nous avons vu dans les sections précédentes que la position prosodique d'un segment influence le degré et la dispersion des contacts de la langue sur le palais. Ainsi pour les occlusives /t, n, k/, les caractéristiques spatiales de l'articulation consonantique varient en fonction de la position prosodique. Or, un geste articulatoire³⁸ n'existe pas seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps. Dans cette section, nous chercherons donc à savoir si les caractéristiques temporelles de l'articulation linguale sont également modifiées par la position prosodique de la consonne.

L'électropalatographie ne permet pas d'observer le déroulement temporel complet du mouvement de la langue. L'apparition du contact ne correspond pas au début du déplacement de la langue vers le palais, mais au point où celle-ci entre en contact avec le palais. De même, la disparition du contact ne correspond pas à la fin du mouvement de la langue mais au relâchement de l'occlusion. L'électropalatographie renseigne donc uniquement sur la durée du geste d'occlusion de la langue sur le palais.

Pour les consonnes occlusives, j'ai mesuré la durée de l'occlusion linguale sur les profils de contact entre la première image présentant une occlusion complète et la dernière image avant la cassure du barrage occlusif. Il faut rappeler que la fréquence d'échantillonnage des données palatographiques est de 100 Hz. Les mesures de la durée de l'occlusion doivent donc être considérées avec une erreur de 9 ms. Puisque cette erreur est constante et puisque les intervalles occlusifs comparés entre les positions prosodiques sont mesurés tous de la même manière, il ne semble pas que ceci puisse être source d'erreur dans nos comparaisons.

³⁸ J'utilise ici le mot "geste" dans un sens pré-théorique, au sens d'événement articulatoire. Il ne s'agit pas ici du Geste défini dans la Phonologie Articulatoire comme unité minimale de contraste, ou comme structure minimale de contrôle d'un mouvement articulatoire [voir p. ex. Browman & Goldstein 1992].

Les durées de l'occlusion linguopalatale sont présentées dans les figures 3.10 a, b, c pour les trois occlusives et par locuteur. Les résultats des comparaisons statistiques sont présentés dans le tableau III-4a.

- La durée de l'occlusion des trois consonnes occlusives varie, elle aussi, en fonction de la position prosodique. A l'image des variations du degré de contact linguopalatal, les consonnes placées au début des constituants prosodiques élevés tendent à avoir une occlusion plus longue. Pourtant, lorsqu'on compare le nombre de positions différenciées par le degré de contact ou par la durée de l'occlusion, il apparaît que les variations temporelles distinguent moins de positions prosodiques (comparaison tableau III-4a et III-1). Le locuteur 1F perd la distinction entre Si et Mi pour /n/, entre Mi et GAi pour /k/. Il gagne une distinction entre GIi et Pi pour la consonne /t/. Le locuteur 2M, perd la distinction entre Mi et Si ou GAi pour /n/, entre GIi et Pi pour /t/. Pour /k/, les mêmes positions sont distinguées par la durée de l'occlusion et le degré de contact.

Figure 3.10 Durée de l'occlusion linguale pour les occlusives /n/ (a), /t/ (b) et /k/ (c) en fonction de la position prosodique. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

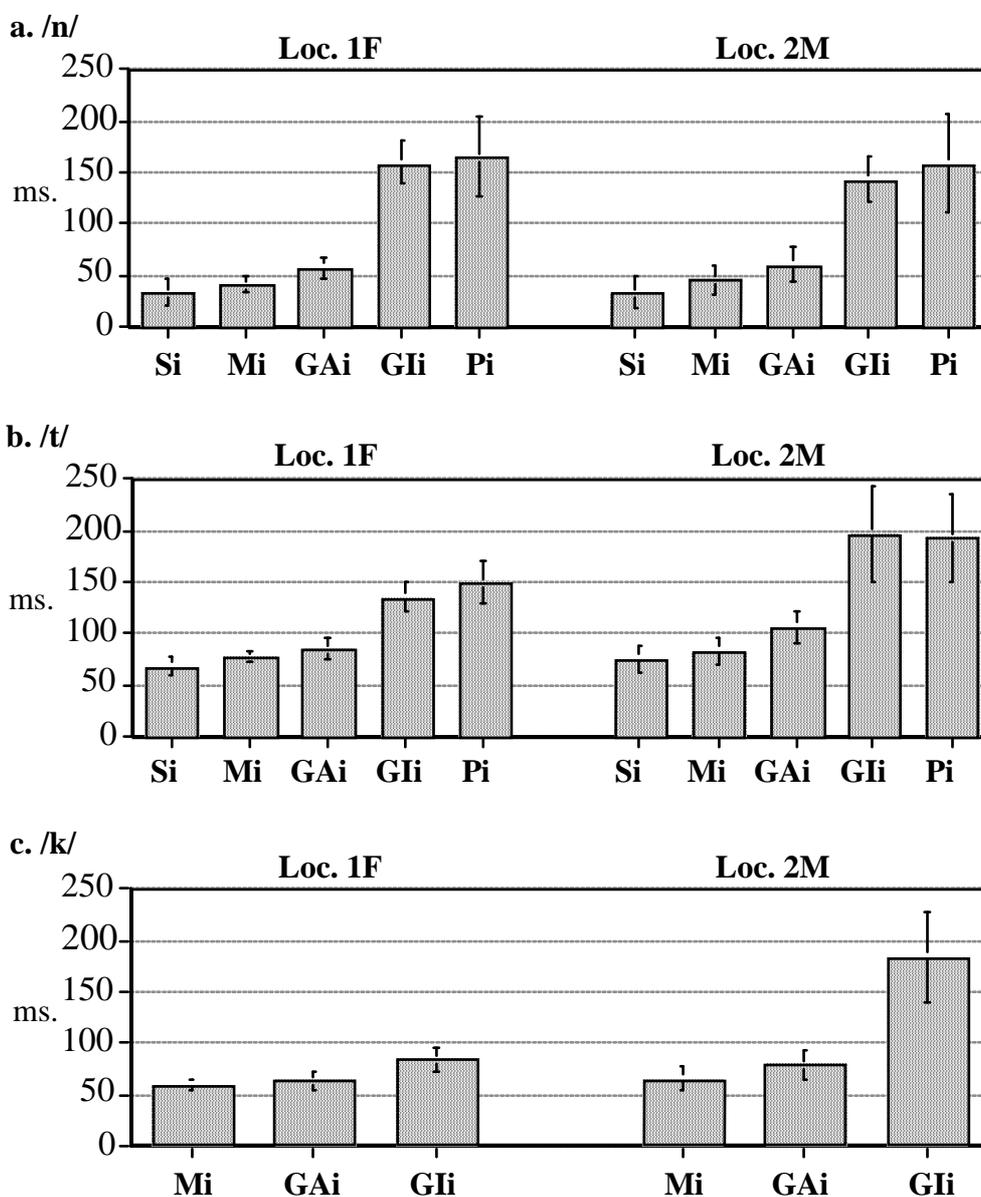


Tableau III-4a : Durée de l'occlusion linguale des consonnes /n/, /t/ et /k/. Comparaisons entre positions prosodiques. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
/n/	F(4,92)=186,9; p=0,0001 Si, Mi <* GAi <* GLi, Pi	F(4,89)=89,6; p=0,0001 Si <* GAi <* GLi, Pi ; Mi <* GLi, Pi
/t/	F(4,97)=166,9; p=0,0001 Si <* Mi, GAi <* GLi <* Pi	F(4,97)=78,5; p=0,0001 Si, Mi <* GAi <* GLi, Pi
/k/	F(2,43)=33,1; p=0,0001 Mi, GAi <* GLi	F(2,42)=81,6; p=0,0001 Mi, GAi <* GLi

Tableau III.4 b: Coefficients de corrélation (r^2) entre le degré de contact linguopalatal (sur tout le palais) et la durée de l'occlusion linguale. Données pour les deux locuteurs et les trois consonnes /n, t, k/. En (a) corrélations calculées sur l'ensemble des données, en (b) corrélations calculées uniquement pour les consonnes en Si, Mi, et GAi (non précédées de pause).

		Locuteur 1F	Locuteur 2M
/n/	(a)	0,63	0,76
	(b)	0,66	0,63
/t/	(a)	0,60	0,60
	(b)	0,61	0,47
/k/	(a)	0,20	0,60
	(b)	0,0001	0,003

La position prosodique affecte donc les caractéristiques spatiales et temporelles de l'articulation des consonnes mais elle a plus d'influence sur le plan spatial. Comme on l'a dit précédemment, les caractéristiques spatiales et temporelles d'un geste sont intimement liées : la constriction de la langue sur le palais peut être plus importante parce que le geste d'occlusion est plus long et, inversement, le geste d'occlusion peut être plus long parce que la langue se déplace plus loin vers le palais. Les relations entre degré de contact linguopalatal (total) et durée du geste d'occlusion sont estimées par la corrélation entre ces deux variables. Les coefficients de corrélation sont présentés dans le tableau III-4b.

- Plus de la moitié de la variance du degré de contact est prédictible à partir de la variance de la durée d'occlusion pour les deux locuteurs pour /n/ et /t/, et pour le locuteur 2M pour /k/ ($r^2 > .5$). Pour le locuteur 1F, seul 20% ($r^2 = .2$) de la variance du degré de contact de /k/ peut être expliqué par la variance de la durée d'occlusion. Il existe donc une relation entre les deux variables, mais les caractéristiques temporelles de l'articulation consonantique ne déterminent qu'une partie de ses caractéristiques spatiales, et vice-versa.

Sur la figure 3.10, il apparaît clairement que deux grands groupes se distinguent par la durée de l'occlusion : les débuts de GI et P ont une occlusion très longue, les positions inférieures ont une durée plus courte. Les deux positions GLi et Pi, se distinguent également des positions inférieures par la présence d'une pause. L'augmentation de la durée de l'occlusion pour les consonnes précédées d'une pause n'indique pas seulement que ces consonnes sont plus longues, mais surtout que l'articulation linguale commence pendant la pause (i.e. la pause est articulée). Ce phénomène est particulièrement net pour la consonne sonore /n/ et est illustré sur la figure 3.11 qui présente deux exemples de la suite /a#na/ produite par le locuteur 1F en GLi (graphe supérieur) et par le locuteur 2M en Pi (graphe inférieur). Sur chaque graphe sont présentés (1) le signal acoustique, (2) la trajectoire de contact exprimée en % d'électrodes contactées sur les 96 électrodes du palais (ordonnée) en fonction du temps (abscisse), (3) un profil de contact pendant la pause (point B), et (4) le spectrogramme de la séquence. Dans ces exemples, et pour la plupart des /n/ analysés, l'augmentation du contact linguopalatal (point C) et le début de l'occlusion linguale complète (point D) se font bien avant le début des vibrations laryngées (point E), donc avant le début acoustique de la consonne. Pour les consonnes sourdes il est bien sûr impossible de délimiter le début acoustique de la consonne. Pourtant, l'examen du profil de contact et de la durée des gestes

d'occlusion présentés figure 3.10 suggèrent que le maximum d'occlusion arrive aussi très tôt pendant la pause (p. ex., environ 200 ms avant le relâchement de l'occlusion pour les /t/ du locuteur 2M). La mise en place anticipée des articulateurs avant le début de la phonation et pendant la pause a été également observée (bien que non mentionnée dans la publication) dans le corpus en /nonono/ utilisé par Fougeron et Keating (1997) pour l'anglais-américain³⁹.

En ce qui concerne le degré de contact ou la durée de l'occlusion linguale, les variations en fonction de la position prosodique ne sont pas limitées à une différence entre positions avec pause et positions sans pauses. Les positions sans pauses (Si, Mi et GAi) se différencient également par ces variations articulatoires. Dans le calcul de la corrélation entre degré de contact et durée de l'occlusion, il est possible que la corrélation soit exagérée par la présence des positions GIi et Pi qui ont un contact particulièrement important associé à une occlusion très longue. La corrélation entre variables temporelle et spatiale pourrait alors ne tenir qu'au statut particulier des consonnes précédées d'une pause. Pour tester cette hypothèse, j'ai examiné uniquement les positions non précédées d'une pause, c'est à dire les positions Si, Mi, et GAi pour /n/ et /t/, et les positions Mi et GAi pour /k/. Ces données sont indiquées dans le tableau IV-b par la lettre (b).

- Pour les deux locuteurs, l'exclusion des positions GIi et Pi modifie peu (Loc. 1F) ou diminue légèrement (Loc. 2M) la corrélation entre le degré de contact et la durée de l'occlusion pour les consonnes /n/ et /t/. Pour la consonne /k/, lorsque l'on ne considère que les position Mi et GAi, il n'y a pas de corrélation entre degré de contact et durée de l'occlusion pour les deux locuteurs.

A.4. Conclusion I.A : les occlusives /n, t, k/

La position prosodique d'une consonne occlusive influence son articulation, tant dans le degré de contact et la distribution du contact linguopalatal que dans la durée de l'occlusion linguale. En fonction des locuteurs et des consonnes étudiées, le nombre et la nature des positions distinguées par cette variation articulatoire varient. Par contre, la tendance reste constante : plus la position prosodique s'élève dans la hiérarchie prosodique, plus le contact linguopalatal est important.

Cette augmentation du contact se traduit par un élargissement progressif de la surface de l'occlusion, vers l'arrière du palais pour /t/ et /n/ et vers l'avant du palais pour /k/. Pour la consonne /t/, on observe chez un locuteur une extension concomitante du contact à l'avant de la constriction. Ceci laisse penser qu'il s'agit d'une modification dans le degré de constriction de la langue contre le palais, et non pas d'un déplacement du lieu d'articulation. Pour les autres consonnes, la limitation des observations aux frontières du palais artificiel ne permet pas d'affirmer qu'il n'y a pas un déplacement du contact.

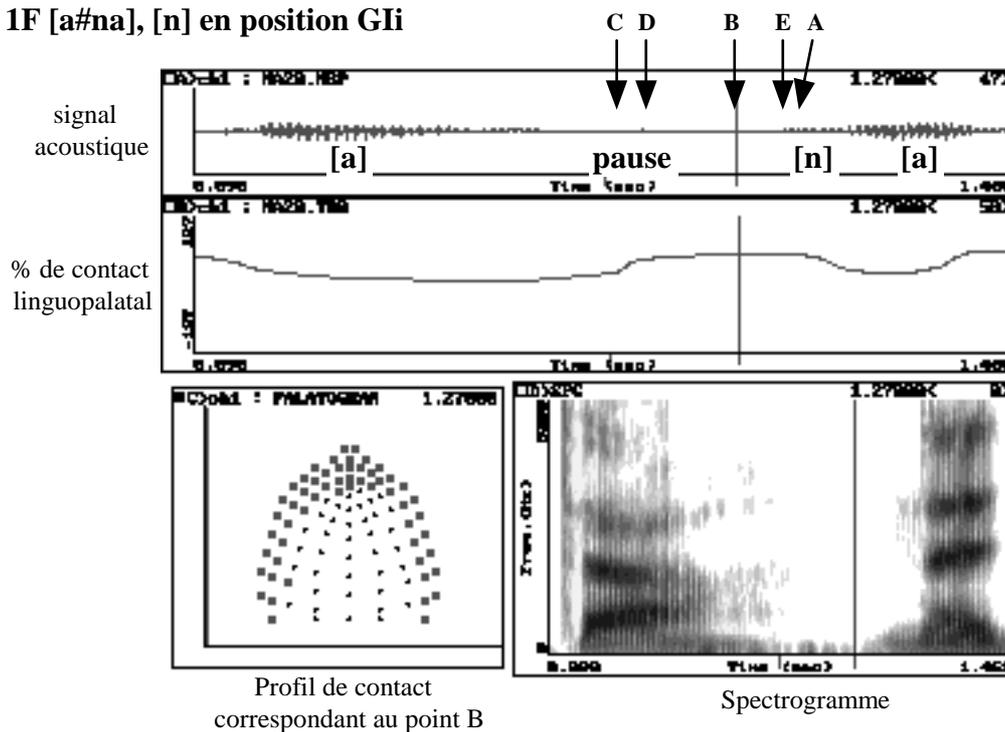
L'augmentation progressive du degré de contact s'accompagne d'un allongement progressif de la durée de l'occlusion linguale dans les positions prosodiques supérieures. Les caractéristiques temporelles et spatiales de l'articulation de /n/, /t/ et /k/ varie parallèlement, mais la variance de l'une ne prédit qu'une partie de la variance de l'autre. Ces résultats confirment que les variations spatiales ne peuvent pas être réduites à des variations temporelles seules, et que ces deux dimensions doivent être prises en considération si l'on veut comprendre les modifications articulatoires en fonction de la position prosodique.

D'autre part, les résultats montrent que les caractéristiques spatiales et temporelles des consonnes sont influencées par la position prosodique et ce qu'il y ait ou non une pause avant le segment test.

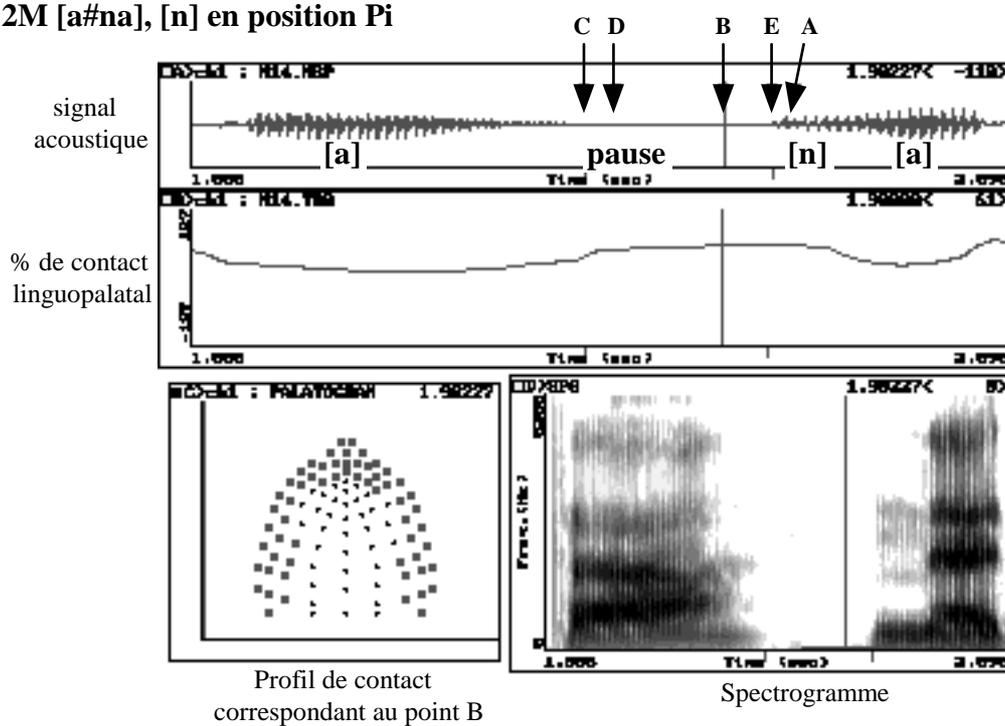
³⁹ Dans le cas des consonnes antérieures, la constriction de la langue sur le palais pendant la pause et avant le début de la phonation peut résulter, (1) d'une anticipation de l'articulation de la consonne suivante, (2) d'un retour de la langue dans sa position de repos (plaquée sur les alvéoles) après la déglutition, (3) d'un "speech ready gesture" qui serait indépendant de l'articulation de la consonne suivante. Dans la littérature, la distinction entre ces trois possibilités n'est pas claire, et reste à démontrer. L'examen non-systématique des phrases avec la consonne [k], montre que la consonne postérieure n'est pas précédée de ce geste d'occlusion antérieur pendant la pause. Il semblerait donc, dans notre étude, qu'il s'agisse d'une articulation anticipée de l'occlusion antérieure pour les consonnes /n/ et /t/ suivantes. [voir Staka (1963:70) pour une distinction entre position de "repos absolu" et position de "repos relatif" pendant la pause]

Figure 3.11 : Exemples de pauses articulées précédant un /n/ en position GIi (en haut) et un /n/ en position Pi (en bas). A noter, le fort degré de contact linguopalatal bien avant le début acoustique de /n/ (E).

1F [a#na], [n] en position GIi



2M [a#na], [n] en position Pi



I.B. La fricative /s/

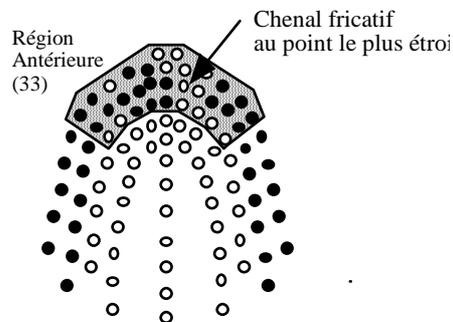
L'articulation de /s/ se caractérise par la formation d'un chenal d'air central qui résulte d'un mouvement ascendant des bords latéraux de la langue et d'un appui en avant sur les alvéoles à la hauteur des canines et en arrière au delà des molaires [Marchal 1988:65]. Plusieurs mesures peuvent être utilisées pour étudier les caractéristiques articulatoires de cette consonne, et donc pour observer leurs variations en fonction de la position prosodique. Fletcher (1989) définit deux indices pour mesurer les particularités du sillon (chenal) fricatif central : la largeur du chenal ("Groove width") qui est définie comme la distance la plus étroite entre les bords latéraux du chenal, et la localisation du centre du chenal ("Groove center location") qui est la distance sur l'axe antéro-postérieur de la partie la plus étroite du chenal. J'utiliserai ces deux indices ainsi qu'une mesure de la surface du chenal fricatif (longueur * largeur) au point où il est le plus étroit.

Pour une constrictrice, on peut se demander quel événement dans la tenue de la consonne est le plus approprié pour prendre les mesures. J'ai choisi le point où le contact est maximal, comme pour les consonnes occlusives, c'est à dire le point où le mouvement de la langue vers le palais a atteint son élévation maximale et où le chenal fricatif est réduit au maximum.

B.1. Degré de contact linguopalatal

En premier lieu, je compare le pourcentage moyen (sur 20 répétitions) d'électrodes contactées dans la région antérieure du palais où se situe le chenal fricatif. Cette région, présentée sur la figure 3.12, comprend 33 électrodes réparties sur 4 arcs : de l'arc le plus antérieur, situé à mi-distance sur la face interne des incisives, au 4ème arc vers l'arrière, situé sur les alvéoles (juste sur l'angle convexe des alvéoles). Sur les cotés, cette région s'étend jusqu'aux prémolaires.

Figure 3.12 : Région antérieure (cadre grisé) définie pour /s/. Entre parenthèses est indiqué le nombre d'électrodes incluses dans la région. Les électrodes en noir donnent un exemple de profil de contact pour un /s/ produit par le locuteur 1F en position G*l*i.



La Figure 3.13 présente, pour les deux locuteurs, le degré de contact dans la région antérieure pour la consonne /s/ placée aux cinq positions prosodiques examinées. Le tableau III.5 donne le résultat des comparaisons statistiques.

- Pour les deux locuteurs, le degré de contact linguopalatal dans cette région antérieure varie quelque peu en fonction de la position prosodique. Le contact tend à s'accroître dans les positions supérieures mais la distinction entre les positions prosodiques est moins nette que celle observée pour les occlusives. Si l'on exclut les débuts de Syllabe, le degré de contact linguopalatal distingue un groupe de positions supérieures et un groupe de positions inférieures. Pour le locuteur 1F, les /s/ en début de Mot et en début de GA ont moins de contacts que dans les positions supérieures. Pour le locuteur 2M, les /s/ en début de Mot ont moins de contacts que dans les positions supérieures. En début de Syllabe, le degré de contact linguopalatal varie en fonction du locuteur : il est similaire aux positions G*l*i et P*i* pour le locuteur 1F, et est similaire aux positions M*i* et G*l*i pour le locuteur 2M.

Figure 3.13 : Degré de contact linguopalatal antérieur pour /s/ en fonction de la position prosodique. Exprimé en % d'électrodes contactées sur la région antérieure. (pour les abréviations, cf. figure 3.1)

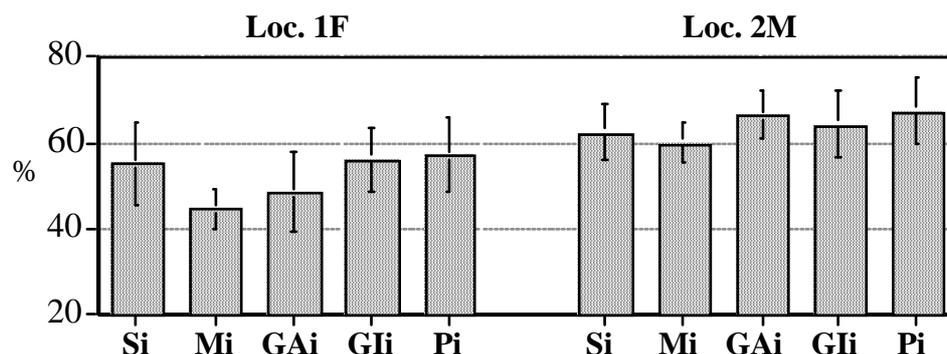


Tableau III.5 : Degré de contact sur la région antérieure, de largeur, de longueur, de surface, et de localisation du chenal fricatif pour /s/. Comparaisons entre positions prosodiques. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
Région Antérieure (%)	F(4,93)=8,9; p=0,0001 Mi, GAi <* GIi, Pi, Si	F(4,94)=4,6; p=0,002 Mi <* GAi, GIi, Pi ; Si <* GAi, Pi
Largeur du chenal	F(4,93)=6,4; p=0,0001 Mi, GAi >* GIi, Pi, Si	F(4,88)=0,7; p=0,6 (ns)
Longueur du chenal	F(4,93)=1,8; p=0,1 (ns) Mi, GAi >* Pi	F(4,88)=0,6; p=0,7 (ns)
Surface du chenal	F(4,93)=4,1; p=0,004 Mi, GAi >* Pi, Si ; Mi >* GIi	F(4,88)=0,6; p=0,7 (ns)
Localisation du chenal	F(4,93)=2,6; p=0,04 Mi, GAi <* Pi	F(4,88)=6,5; p=0,0001 Mi, GAi <* GIi, Pi, Si

B.2. Caractéristiques du chenal fricatif (largeur, longueur, surface)

Les caractéristiques du chenal fricatif au point où le chenal est le plus étroit sont illustrées dans les figures 3.14 pour sa largeur, 3.15 pour sa longueur, 3.16 pour sa surface et 3.17 pour sa localisation sur l'axe antéro-postérieur. Ces mesures, moyennées sur 20 répétitions, sont exprimées en nombre d'électrodes non contactées. Sur le profil de contact présenté figure 3.12, le point (position) où le chenal est le plus étroit est situé sur le 3ème arc ; il a une largeur de 2 électrodes, il s'étend en longueur sur une électrode, il a donc une surface de 2 électrodes. Les résultats des comparaisons statistiques pour ces mesures sont donnés dans le tableau III-5 .

- Pour le locuteur 1F, la réduction du contact observée dans la région antérieure en début de Mot et en début de GA se traduit par un chenal fricatif plus large, légèrement plus long et, donc, de surface plus étendue que dans les positions supérieures. Sur la Figure 3.16, on observe une diminution progressive de la surface du chenal fricatif de la position Mi à la position Pi. Pourtant, les différences entre positions ne sont pas toutes significatives (voir tableau III-5).
- Pour le locuteur 2M, ni la largeur, ni la longueur, ni la surface du chenal fricatif ne varient en fonction de la position prosodique de /s/.
- Pour les deux locuteurs, la localisation de la partie la plus étroite du chenal fricatif sur l'axe antéro-postérieur distingue encore une fois les positions Mi-GAi. Dans ces positions, le chenal fricatif est plus antérieur que dans les positions GIi et Pi, pour 2M, et que dans la position Pi, pour 1F.

Les caractéristiques du chenal fricatif (longueur, largeur, surface, position) sont particulièrement variables entre les 20 répétitions de la consonne /s/. Ceci s'observe pour toutes les positions prosodiques sur les écarts types des figures 3.14 à 3.17. De plus, on observe que la plage de variation de ces mesures est relativement étroite : une ou deux électrodes, rarement plus. En conséquence, les différences entre positions prosodiques sont rarement

significatives. La figure 3.18 présente les profils moyens de contact de /s/ sur la région antérieure pour les deux locuteurs. Chaque électrode contactée au moins une fois dans les 20 répétitions de /s/ à chaque position prosodique est marquée par un cercle noir. La variabilité entre les différentes répétitions (caractéristiques du chenal, l'asymétrie du contact, etc...) ne laisse pas apparaître un profil caractéristique particulier pour chaque position prosodique.

Figure 3.14 : Largeur du chenal fricatif au point le plus étroit. Exprimée en nombre d'électrodes non-contactées dans le chenal (voir texte pour explications).

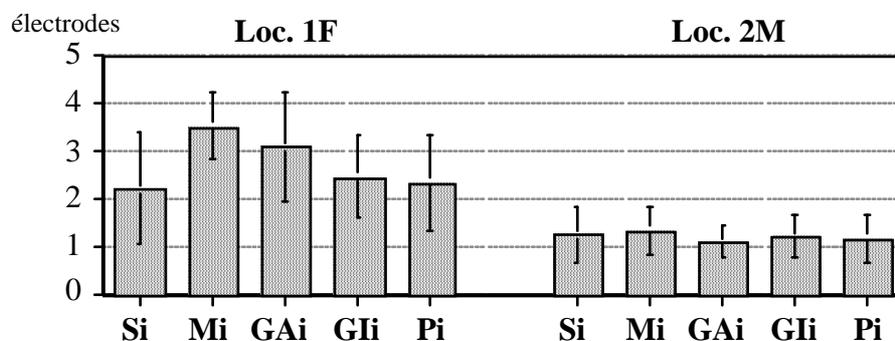


Figure 3.15 : Longueur du chenal fricatif au point le plus étroit. Exprimée en nombre d'électrodes non-contactées dans le chenal (voir texte pour explications).

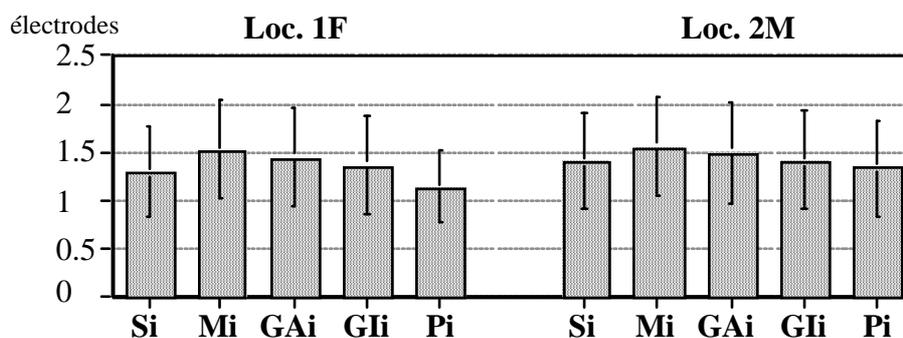


Figure 3.16 : Aire du chenal fricatif au point le plus étroit. Exprimée en nombre d'électrodes non-contactées dans le chenal (voir texte pour explications).

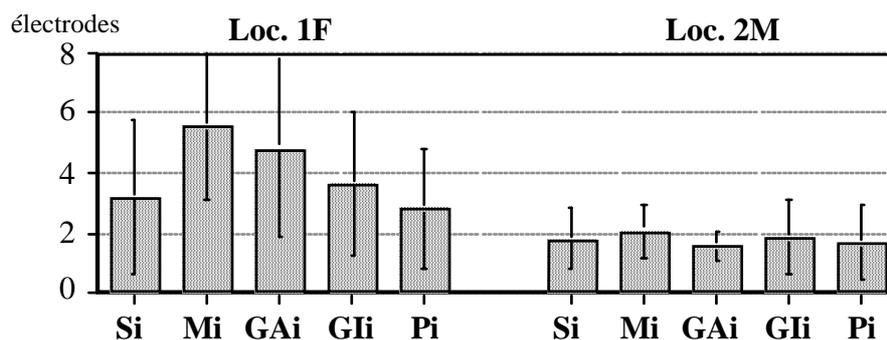


Figure 3.17 : Localisation du chenal fricatif au point le plus étroit par rapport aux arcs d'électrodes dans la région antérieure. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

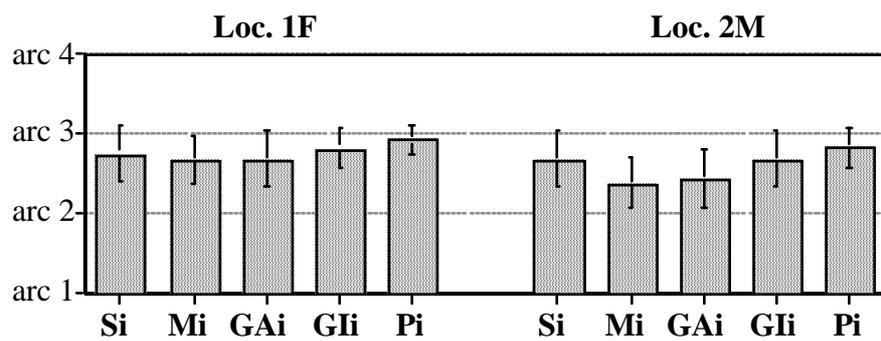
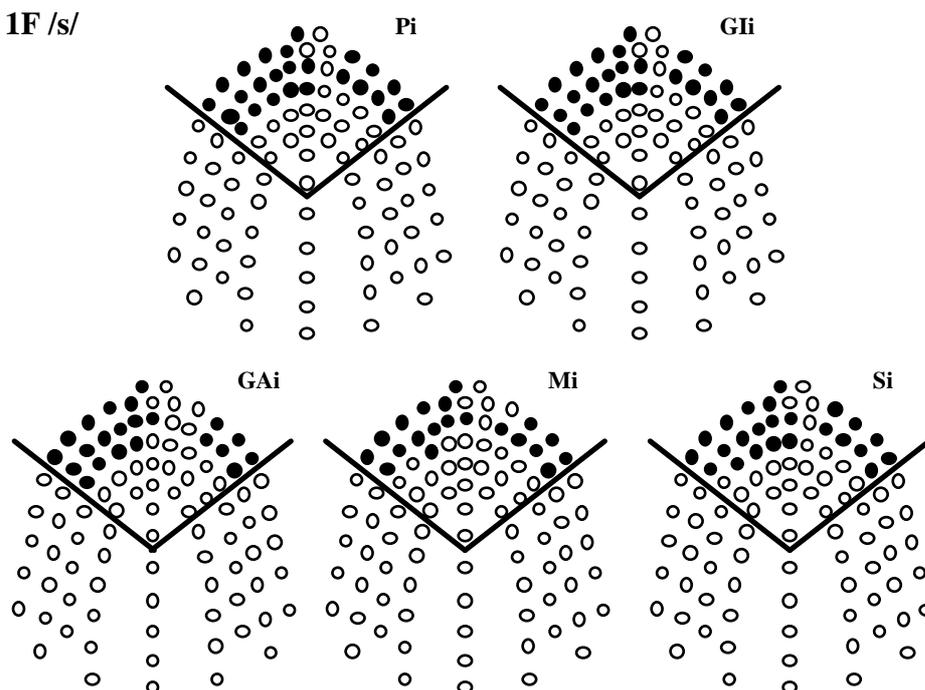
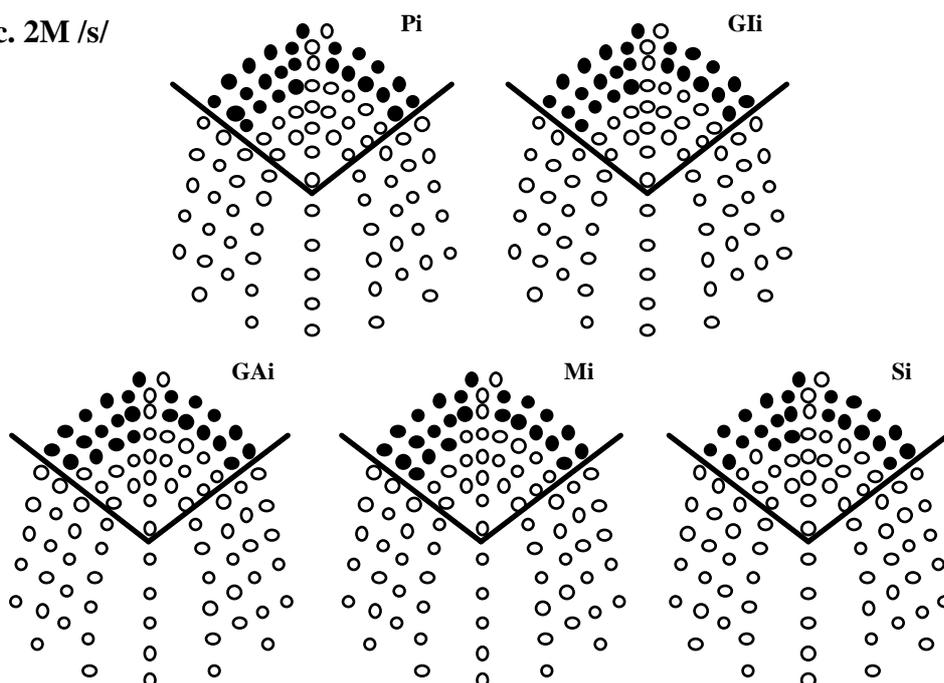


Figure 3.18 : Profils moyens de contact linguopalatal pour /s/ sur la région antérieure en fonction de la position prosodique. Les points noirs représentent les électrodes ayant été contactées pour au moins une des 20 répétitions de la consonne à chaque position. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

Loc. 1F /s/



Loc. 2M /s/



B.3. Conclusion I.B : la fricative /s/

L'articulation de la fricative /s/ varie en fonction de la position prosodique de la consonne, mais cet effet est beaucoup moins marqué que pour les consonnes occlusives. D'autre part, les effets observés varient en fonction du locuteur. Pour le locuteur 1F, les /s/ en début de Mot et en début de GA se caractérisent par un degré de contact moins important dans la région antérieure et par un chenal fricatif plus large et plus antérieur que dans les positions supérieures. Pour le locuteur 2M, les positions Mi et Gai se distinguent par un chenal plus antérieur, et

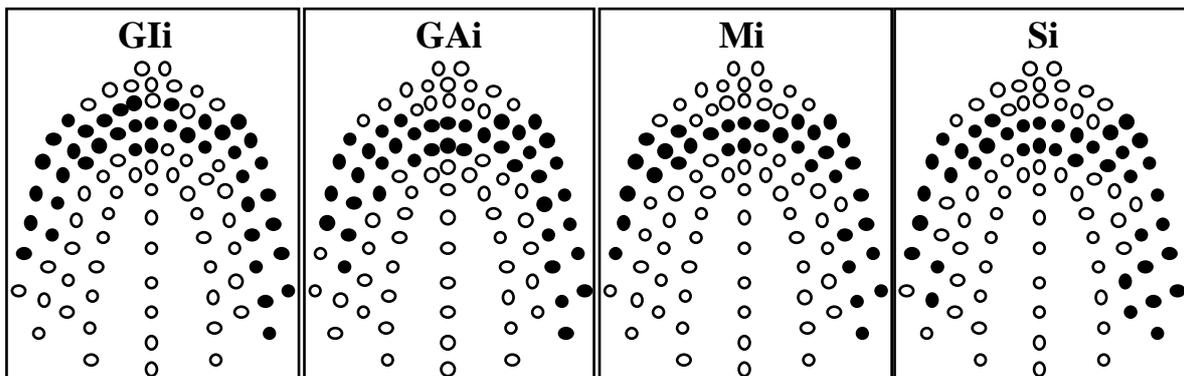
la position Mi par moins de contacts dans la région antérieure que dans les positions supérieures. Les variations articulatoires, si faibles et variables soient-elles, suivent la hiérarchie des positions prosodiques en distinguant des positions inférieures (Mi et GAi) des positions supérieures (GII et Pi). Par contre, la position Si ne suit pas cette tendance et ne partage pas les caractéristiques des positions inférieures Mi et GAi.

I.C. La liquide latérale /l/

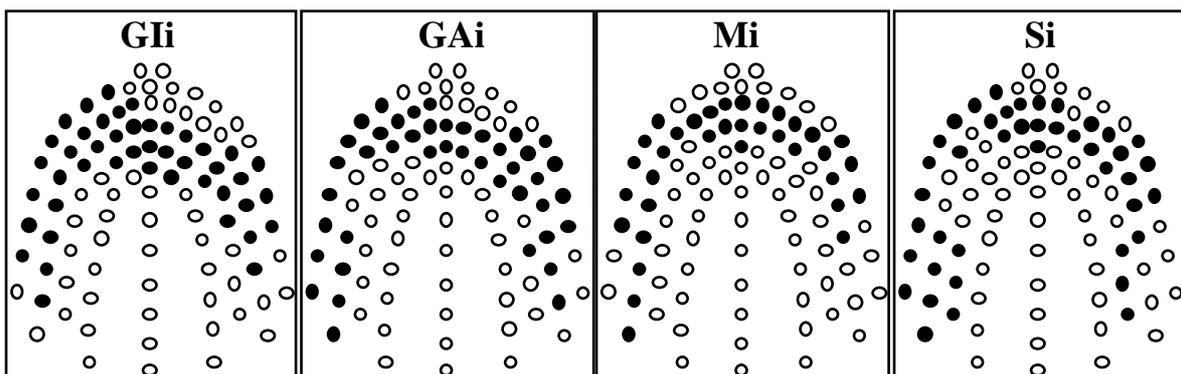
L'articulation de la consonne /l/ se caractérise par une occlusion centrale alvéolaire et une contraction des ailes de la langue vers l'axe médian qui crée un passage latéral à l'arrière de l'occlusion apico-alvéolaire par lequel l'air va s'échapper [Simon 1967]. La figure 3.19 présente les profils de contact moyens de /l/ pour les deux locuteurs au point où le contact linguopalatal est maximal pendant l'articulation de la consonne. Chaque électrode contactée au moins une fois dans les 10 répétitions de /l/ à chaque position prosodique est marquée par un cercle noir. Pour la consonne latérale, seules les positions prosodiques Si, Mi, GAi et GIi sont étudiées. La position Pi, qui ne se différencie que rarement de la position GIi pour les autres consonnes, n'est pas examinée. Sur ces profils, on peut voir que, pour les deux locuteurs, l'occlusion centrale est alvéolaire. Elle est relativement étroite comparée aux dento-alvéolaires /t/ et /n/ [voir aussi Simon 1967, Rochette 1973, Dart 1991]. Elle s'étend sur les arcs 3, 4 et 5 qui correspondent respectivement à la partie antérieure des alvéoles, au renflement des alvéoles, et à la partie postérieure des alvéoles ou zone pré-palatale (voir sur les photos des palais). Sur les côtés, le passage latéral est très postérieur, au niveau des dernières molaires, et n'apparaît généralement que d'un côté : sur le coté gauche pour le locuteur 1F, et sur le coté droit pour le locuteur 2M. L'ouverture latérale peut aussi se former des deux cotés comme dans les productions du locuteur 2M en position GIi.

Figure 3.19 : Profils moyens de contact linguopalatal pour /l/ en fonction de la position prosodique. Les points noirs représentent les électrodes ayant été contactées pour au moins une des 10 répétitions de la consonne à chaque position. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

Loc. 1F



Loc. 2M



C.1. Degré de contact linguopalatal sur la région antérieure et les régions latérales

D'après ces profils, trois régions ont été définies pour caractériser l'articulation de /l/. Ces régions sont présentées sur la figure 3.20. La région antérieure comprend 46 électrodes. Elle s'étend de la partie la plus antérieure du palais jusqu'à la zone pré-palatale (arc 6) et s'arrête sur les cotés après les prémolaires. Les régions latérales, droite et gauche, comprennent 15 électrodes chacune, réparties sur les trois rangés latéraux du palais au niveau des molaires (une rangée sur l'angle interne des molaires, une à la racine des molaires et une plus rapprochée du centre du palais).

Figure 3.20 : Région antérieure (cadre grisé) et régions latérales droite (cadre blanc) et gauche (cadre noir) définies pour /l/. Entre parenthèses est indiqué le nombre d'électrodes incluses dans chaque région. Les électrodes en noir donnent un exemple de profil de contact pour un /l/ produit par le locuteur 1F en position Mi.

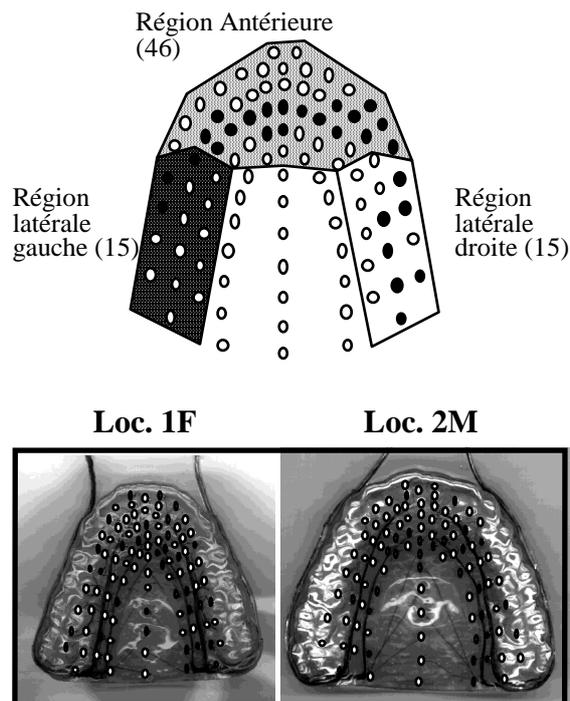


Tableau III.6 : Degré de contact sur les régions antérieure et latérales pour /l/. Comparaisons entre positions prosodiques. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$. Ces résultats doivent être considérés à titre indicatif car ils n'incluent que 10 répétitions de la consonne pour chaque position.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
Région Antérieure	F(3,36)=18,5; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi , GLi	F(3,35)=23,4; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi , GLi
Région Latérale Gauche	F(3,36)=5,8; p=0,003 Si, Mi, GAi <* Pi	F(3,35)=9,0; p=0,0001 Si >* Mi >* GLi
Région Latérale Droite	F(3,36)=2,7; p=0,06 ns Si, Mi >* GAi	F(3,35)=17,7; p=0,0001 Mi <* Si, GAi <* Pi
Index d'asymétrie	F(3,36)=7,7; p=0,0004 Si, Mi >* GAi, GLi	F(3,35)=37,7; p=0,0001 Si, Mi >* GAi >* GLi

Je n'ai enregistré que 10 répétitions de la consonne /l/ à chaque position prosodique. Je présenterai les résultats des comparaisons statistiques effectuées dans le tableau III-6, mais ces résultats doivent être considérés uniquement à titre indicatif pour un échantillon si petit. Le pourcentage d'électrodes activées dans ces trois régions est présenté dans la figure 3.21 pour la région antérieure et dans la figure 3.22 pour les régions latérales droite et gauche. Globalement, le degré de contact linguopalatal est affecté par la position prosodique de la consonne, principalement dans la région antérieure, et de façon variable sur les régions latérales en fonction du locuteur.

- Dans la région antérieure, le degré de contact linguopalatal varie en fonction de la position prosodique pour les deux locuteurs. Cette variation se traduit par une augmentation du contact aux positions prosodiques supérieures. Pour les deux locuteurs, les /l/ en début de Syllabe ont moins de contact que les /l/ en début de Mot, et ceux-ci ont moins de contacts que les /l/ en début de GA et GI. Entre les positions GAi et GIi les différences ne sont pas significatives. Ainsi, pour les deux locuteurs, le degré de contact au niveau de l'occlusion centrale distingue un niveau sous-lexical (Si), un niveau lexical (Mi) et un niveau post-lexical (GAi, et GIi).
- Dans les régions latérales, les variations dans le degré de contact sont fonction de la position du passage latéral, donc du locuteur. Sur le côté où se fait le passage latéral (gauche pour 1F et droit pour 2M), le nombre d'électrodes contactées augmente en position haute. Ceci signifie qu'il y a une diminution de la largeur du passage latéral. Pour le locuteur 1F (barres noires), le contact augmente des positions inférieures à la position GIi. Le locuteur 2M (barre blanche), le contact augmente de la position Mi à la position GAi et Si, jusqu'à la position GIi. Sur le coté opposé au passage latéral (droit pour 1F et gauche pour 2M), la langue est en appui, comme ancrée, sur les molaires. Sur ce coté la langue forme en général une occlusion complète ou presque complète (dans les cas de relâchement des deux cotés) et le degré de contact linguopalatal tend à diminuer légèrement. Pour le locuteur 2M, le contact diminue de la position Si, à Mi, à GIi. Pour le locuteur 1F, bien que la position prosodique n'a pas d'effet significatif sur l'ensemble des données, il y a une diminution du contact des positions Si et Mi à la position GAi.
- L'augmentation du degré de contact sur le coté du passage latéral aux positions supérieures reflète une diminution de cette ouverture. J'ai comparé sur les profils de contact de la consonne la longueur du passage latéral sur l'arc le plus externe du palais (arc 1). J'observe que pour le locuteur 2M, ce passage s'étend en moyenne sur 2,1 électrodes en position GIi, sur 2,4 électrodes en position GAi et sur 3 électrodes en position Mi et Si. Pour le locuteur 1F, le passage s'étend en moyenne sur 1,1 électrodes en position GIi et sur 2 électrodes en position Si, Mi et GAi.

Figure 3.21 : Degré de contact linguopalatal dans la région antérieure pour /l/ en fonction de la position prosodique. Exprimé en % d'électrodes contactées sur cette région. (pour les abréviations, cf. figure 3.1)

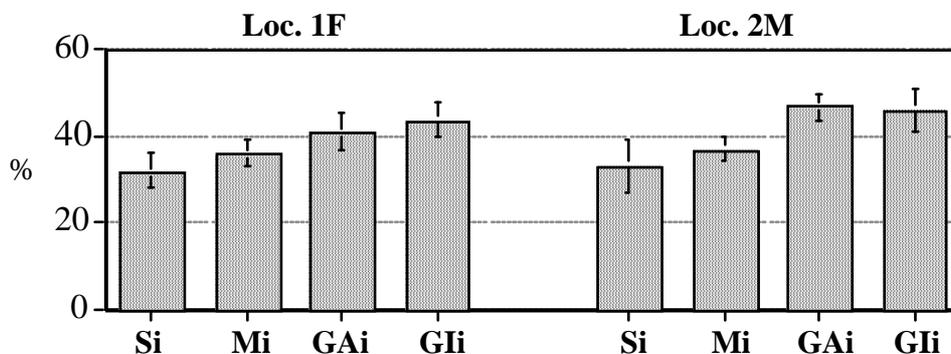
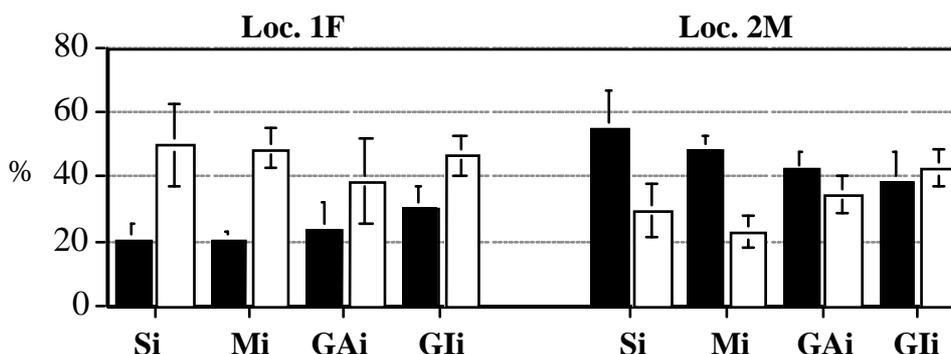


Figure 3.22 : Degré de contact linguopalatal pour /l/ en fonction de la position prosodique, dans les régions latérales droite (barres blanches) et gauche (barres noires). Exprimé en % d'électrodes contactées sur ces régions. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1).



En résumé, pour la consonne /l/, il y a une augmentation progressive du degré de contact au niveau de l'occlusion centrale qui est fonction de la position prosodique. Sur les régions latérales du palais, plutôt qu'une augmentation globale du degré de contact, il y a une variation dans la répartition des contacts qui est fonction de la latéralité de l'articulation. Aux positions supérieures, on observe (1) une augmentation du contact sur le côté du passage latéral (et donc une diminution de cette ouverture latérale) et (2) une faible diminution du contact sur le côté où la langue est en appui. Pour le locuteur 2M, ces variations sont progressives en fonction de la position de la consonne. Pour le locuteur 1F, la tendance est moins progressive et l'augmentation de contact du côté de l'ouverture ne distingue que la position GIi.

C.2. Asymétrie de la distribution du contact linguopalatal

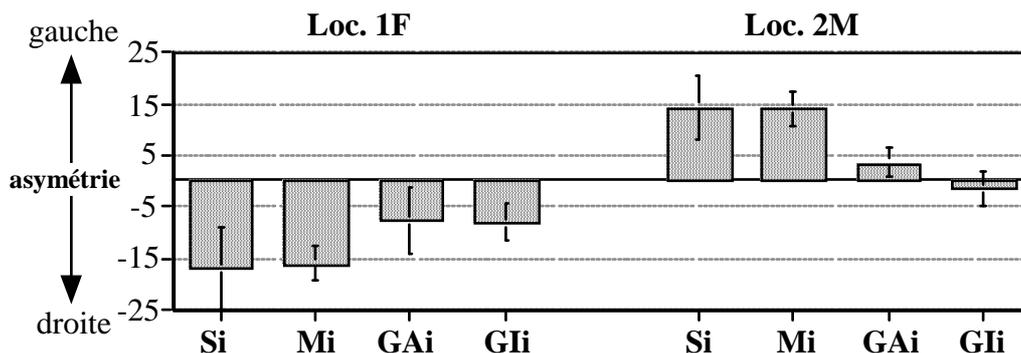
Avec une augmentation du contact sur le côté de l'ouverture et une diminution du contact du côté opposé, la différence entre contact droit et contact gauche est réduite aux positions supérieures (voir la différence entre barres noires et blanche sur la figure 3.22). Cette variation dans l'équilibre des contacts droits et gauches est mesurée par un indice d'asymétrie. L'indice d'asymétrie représente la différence entre le nombre d'électrodes activées dans les régions latérales droite et gauche exprimée en fonction du nombre total d'électrodes activées :

$$\text{Indice d'Asymétrie} = [(\text{contacts à gauche} - \text{contacts à droite}) / \text{contact total}]$$

La valeur de l'indice d'asymétrie est donnée pour chaque position dans la figure 3.23. Un indice positif indique une plus grande concentration de contact sur le côté gauche du palais, alors qu'un indice négatif indique une plus grande concentration d'électrodes activées sur le côté droit ; un indice élevé indique une forte asymétrie de la répartition du contact.

Pour les deux locuteurs, l'asymétrie des contacts est fonction de la position prosodique et il tend à diminuer aux positions prosodiques supérieures. Pour le locuteur 1F, l'asymétrie droite diminue des positions Si et Mi aux positions GAi et GIi. Pour le locuteur 2M, l'asymétrie gauche diminue des positions Si et Mi, à la position GAi, à la position GIi.

Figure 3.23 : Index d'asymétrie entre le contact linguopalatal dans les régions droite et gauche pour /l/. (voir texte pour explications) (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)



C.3. Conclusion I.C. : la latérale /l/

La quantité et la répartition des contacts linguopalataux pour la consonne /l/ varient en fonction de la position prosodique. Cette variation se traduit par une augmentation du contact au niveau de l'occlusion alvéolaire centrale et par une perte de l'asymétrie des contacts latéraux dans les positions supérieures GAi et GIi.

La forte asymétrie du contact dans les positions inférieures est la conséquence d'un déséquilibre dans la concentration des contacts activés entre le côté du palais où la langue est en appui (beaucoup de contacts) et le

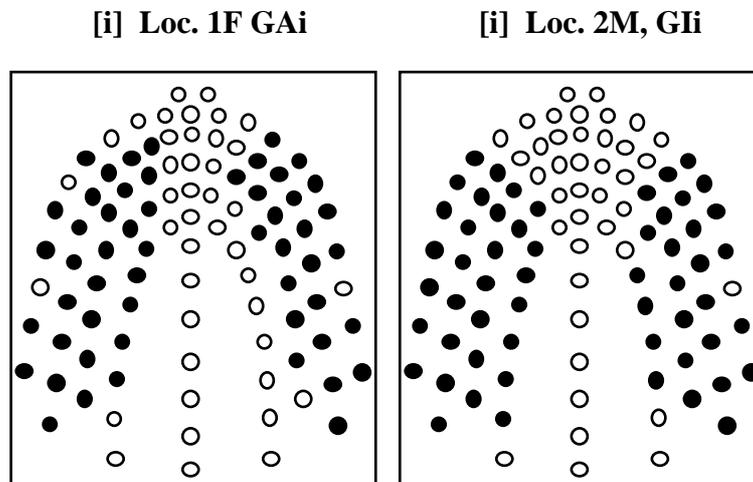
coté du passage latéral (peu de contacts). Dans les positions supérieures, au contraire, le contact de la langue s'équilibre sur les deux cotés en augmentant du coté de l'ouverture latérale (barres noires pour 1F et blanches pour 2M sur la figure 3.22) et en diminuant du coté de l'ancrage de la langue (barres blanches pour 1F et noires pour 2M sur la figure 3.22). L'augmentation du nombre d'électrodes contactées sur le coté du passage latéral provoque une diminution de cette ouverture latérale aux positions supérieures.

I.D. La voyelle /i/

D.1. Degré de contact linguopalatal

L'élévation de la langue pour la voyelle fermée antérieure /i/ se traduit par un degré de contact linguopalatal relativement important sur les bords latéraux du palais. La figure 3.24 présente des exemples de profils de contact pour la voyelle /i/, produits par les deux locuteurs. On peut voir que le contact est large sur les cotés et s'étend de l'arrière du palais jusqu'aux canines environ. Les 4 rangés latérales d'électrodes sont contactées par la langue et le passage de l'air se fait par la partie centrale du palais, au niveau de la rangé sagittale médiane. Dans le corpus, la voyelle /i/ est en contexte labial /p_p/ et les segments linguaux les plus proches sont /i/ (/ip_pi). De ce fait, le contexte segmental n'influence guère l'évolution des appuis linguaux et une tenue articuloire linguale est clairement visible pendant la voyelle. Le maximum de contact linguopalatal pour /i/ a donc été mesuré au milieu de la voyelle pendant l'intervalle où le profil de contact est stable, i.e. pendant sa tenue.

Figure 3.24 : Exemples de profils de contact pour la voyelle /i/ produite par le locuteur 1F en position GAi et par le locuteur 2M en position GIi. Les points noirs représentent les électrodes contactées.



Pour la voyelle /i/, seules 3 positions prosodiques ont été considérées : le début de Mot, le début de GA et le début de GI. Il faut garder à l'esprit qu'ici la voyelle est dans une syllabe VC, elle est donc dans la position initiale absolue du constituant prosodique. Les pourcentages moyens de contacts pour la voyelle sont présentés sur la figure 3.25. Les résultats statistiques sont donnés dans le tableau III-7.

- Il apparaît que le degré de contact linguopalatal de la voyelle varie aussi en fonction de la position prosodique. Pour les deux locuteurs, il y a une augmentation de contact du début de Mot aux positions GA et GI.

Figure 3.25 : Degré de contact linguopalatal pour /i/ en fonction de la position prosodique. Exprimé en % d'électrodes contactées sur tout le palais.

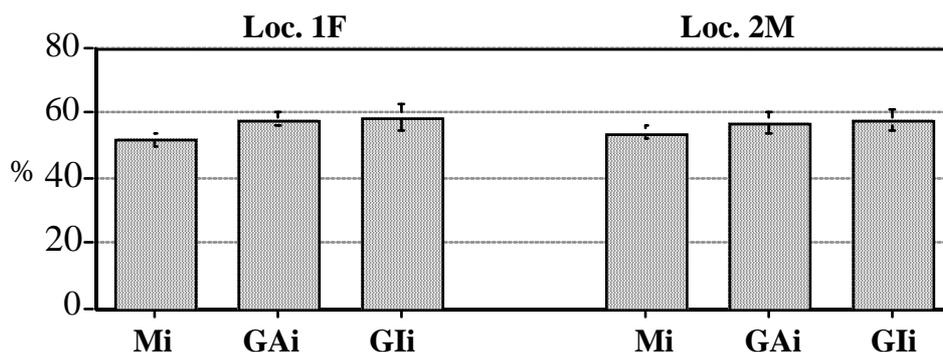


Tableau III.7 : Degré de contact et valeur les formants F1, F2, et F3 de /i/. Comparaisons entre positions prosodiques. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
Degré de contact	F(2,45)=22,5; p=0,0001 Mi <* GAi, GIi	F(2,43)=7,4; p=0,002 Mi <* GAi, GIi
F1	F(2,45)=0,27; p=0,8 ns	F(2,43)=0,07; p=0,9 ns
F2	F(2,45)=1,0; p=0,4 ns	F(2,43)=9,5; p=0,0004 Mi <* GAi, GIi
F3	F(2,45)=37,5; p=0,0001 Mi <* GAi <* GIi	F(2,43)=31,0; p=0,0001 Mi <* GAi <* GIi

D.2. Caractéristiques spectrales

Il y a donc une augmentation du contact linguopalatal dans les positions supérieures à Mi, mais cette augmentation ne permet pas de distinguer les positions GAi et GIi. Il est possible que l'articulation de la voyelle varie davantage, mais que ces variations ne soient pas visibles sur le palais. Par exemple, une modification de la forme de la langue, de son degré d'élévation à l'arrière du palais dur ou à l'avant de la constriction palatale ou dans sa partie centrale, peut ne pas apparaître si cette variation n'élève pas la langue de façon suffisante pour qu'elle soit en contact avec le palais. Il est aussi possible que la position prosodique affecte d'autres articulateurs que la langue, les lèvres par exemple.

Si elles existent, ces variations articulatoires auront pour conséquence une modification de la taille des cavités de résonance dans le conduit vocal et donc des caractéristiques spectrales de la voyelle. Pour évaluer de telles modifications spectrales en fonction de la position prosodique, les formants F1, F2, et F3 de /i/ sont mesurés au milieu de la voyelle, au point où le profil de contact maximum a été relevé. Les valeurs des formants sont présentées sur la figure 3.26. Les résultats statistiques des comparaisons sont donnés dans le tableau III-7.

- Pour les deux locuteurs, il y a une augmentation progressive de la fréquence de F3 de la position Mi, à la position GAi, à la position GIi. Pour le locuteur 2M, il y a également une élévation de F2 de la position Mi aux positions supérieures GAi et GIi. Pour les deux locuteurs, F1 n'est pas affecté par la position prosodique. Ces variations formantiques sont illustrées sur les spectrogrammes présentés figure 3.27 pour une répétition de /i/ aux trois positions examinées pour le locuteur 1F.

Figure 3.26 : Fréquence des formants F1, F2 et F3 de la voyelle /i/ en fonction de la position prosodique.

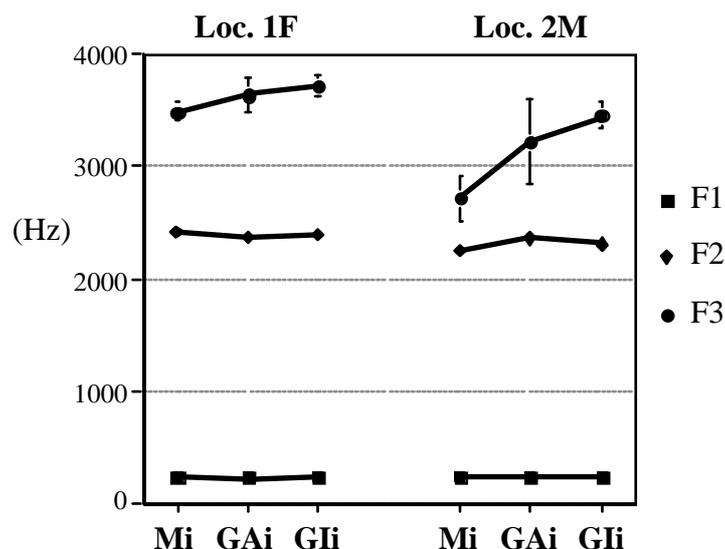
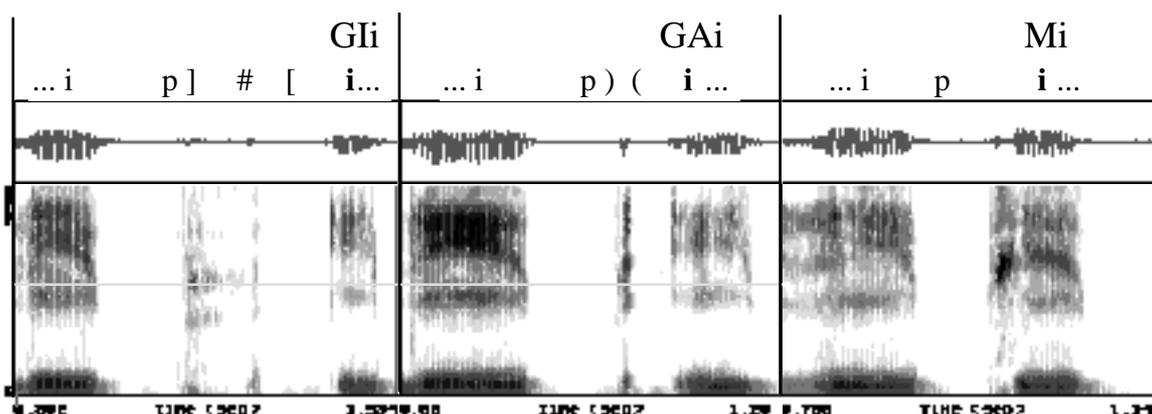


Figure 3.27 : Exemples de spectrogrammes pour la voyelle initiale /i/ dans la séquence /ipi/ (de "Philippe Ippine") en fonction de la position prosodique. A noter, l'augmentation de F3 de la position Mi à GAi à GLi. Attention l'échelle de temps n'est pas la même sur les trois spectrogrammes.



Modélisation articulatoire :

Les modifications spectrales de la voyelle en fonction de sa position prosodique peuvent être la conséquence de deux types de variations articulatoires : (a) une modification au niveau de la constriction linguale et/ou (b) une modification au niveau des lèvres. A l'aide d'une modélisation articulatoire, je cherche quelles sont les conséquences acoustiques de ces modifications articulatoires et si elles peuvent rendre compte des variations observées sur F3 (et éventuellement F2 pour 2M).

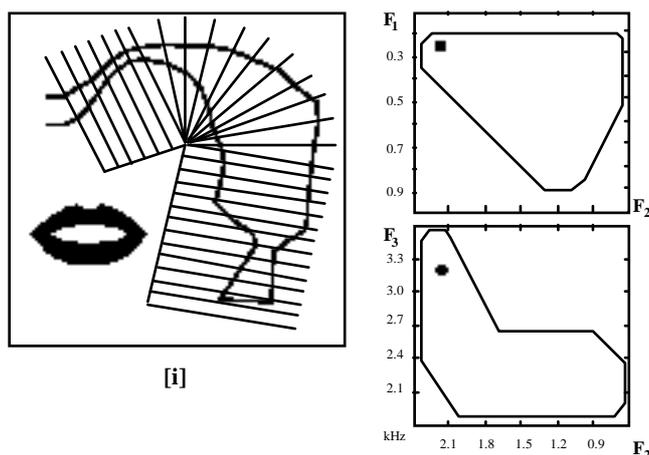
(a) modification au niveau de la constriction linguale :

D'après les données électropalatographiques, on sait que le degré de contact linguopalatal est plus faible en position Mi qu'aux positions supérieures. Cette diminution de contact traduit un abaissement de la partie de la langue en contact avec le palais, et donc une ouverture (un élargissement) de la constriction linguopalatale. Une simulation des conséquences acoustiques d'une variation dans le degré d'élévation de la langue est effectuée à l'aide du programme SMIP [Boé et al. 1993]. Basé sur le modèle articulatoire de Maeda (1989), ce programme génère des contours du conduit vocal à partir de 7 paramètres articulatoires ; ces contours sont par la suite convertis en fonctions d'aire et leur fonction de transfert est calculée. La figure 3.28 présente la configuration articulatoire prédéfinie à partir des tracés cinéroradiographiques de Strasbourg pour la voyelle /i/ [cf. Maeda 1989,

Vallée & Boé 1992]. Les caractéristiques spectrales de la configuration sont données sur la droite, sur les plans F1/F2 et F2/F3. En partant de cette configuration /i/, les conséquences acoustiques d'une modification de la position du corps et du dos de la langue ont été simulées pour comprendre les effets d'une ouverture de la constriction linguopalatale.

Figure 3.28 : Configuration de base pour la modélisation articulatoire à l'aide du programme SMIP [Boé et al. 1993]. Coupe sagittale du conduit vocal générée par le modèle de Maeda et contour des lèvres calculé à l'aide des modèles de l'ICP (Grenoble) pour la voyelle /i/. Sur la droite, les caractéristiques spectrales de la voyelle simulée sont données sur les plans F1/F2 et F2/F3.

Configuration de départ, [i]



- Dans la première simulation, présentée figure 3.29, le dos de la langue est élevé progressivement par pas de 0.1 écart type à partir de la configuration pour /i/. Les conséquences acoustiques des variations de la position du dos de la langue s'observent sur les plans F1/F2 et F2/F3 à côté de la coupe du conduit vocal. Pour faciliter la comparaison des résultats avec la simulation suivante, nous nous concentrerons sur les effets de l'abaissement du dos de la langue (élargissement-ouverture de la constriction), c'est à dire dans le sens inverse de la flèche de la figure 3.29 (de la position la plus haute à la position la plus basse du dos de la langue). On observe dans cette simulation que, plus le dos de la langue s'éloigne du palais, plus F1 augmente et plus F2 et F3 diminuent.

- Dans la deuxième simulation, un élargissement de la constriction de langue contre le palais est simulé par une rétraction progressive du corps de la langue vers l'arrière⁴⁰. Cette simulation est présentée figure 3.30. On peut voir sur le tracé des coupes sagittales superposées que la rétraction du corps de la langue vers l'arrière s'accompagne d'un abaissement de la partie antérieure de la langue. Ce déplacement provoque une augmentation de F1 et une diminution des formants F2 et F3.

Il est bien entendu que les variations articulatoires de /i/ en fonction de la position prosodique ne sont pas aussi extrêmes que celles simulées dans ces exemples. Pourtant, ces simulations montrent qu'une diminution de la constriction de la langue sur le palais, que ce soit par abaissement du dos de la langue ou par rétraction du corps de la langue, provoque une diminution des formants F2 et F3. On a vu qu'en début de Mot F3, pour les deux locuteurs, et F2, pour le locuteur 2M, sont plus faibles. En début de Mot, le degré de contact de la langue sur le palais est aussi plus faible. Il est alors possible d'expliquer l'abaissement des formants supérieurs par une

⁴⁰ Le paramètre articulatoire "tongue body" (corps de la langue) varie sur l'axe antéro-postérieur dans le modèle. La langue étant avancée au maximum dans la configuration de départ pour la voyelle [i], le corps de la langue ne peut plus être avancer d'avantage sans former une occlusion.

diminution de la constriction linguale. Mais cette explication pose problème lorsque l'on considère F1. Comme on pouvait le prévoir, l'abaissement de la masse de la langue dans les simulations provoque une augmentation de F1. Or, dans nos données la valeur de F1 de /i/ ne varie pas en fonction de la position prosodique malgré l'augmentation du contact observée. Par contre, l'augmentation de F2 concomitante à l'augmentation de contact dans les positions GAi et GIi conforte l'idée d'une antériorisation de la langue pour ce locuteur en position supérieure.

Figure 3.29 : Simulation d'une élévation progressive du dos de la langue. Sur la coupe sagittale du conduit vocal sont superposés les différents contours de la langue correspondant à une élévation par pas de $.1\sigma$ à partir de la configuration de base. Les conséquences acoustiques de l'élévation de la langue apparaissent à droite sur les plans F1/F2 et F2/F3. La flèche indique le sens des variations allant de la configuration de base pour /i/ à la position de la langue la plus élevée. (dans le texte, les variations seront décrites dans le sens inverse de cette flèche)

Élévation du dos de la langue

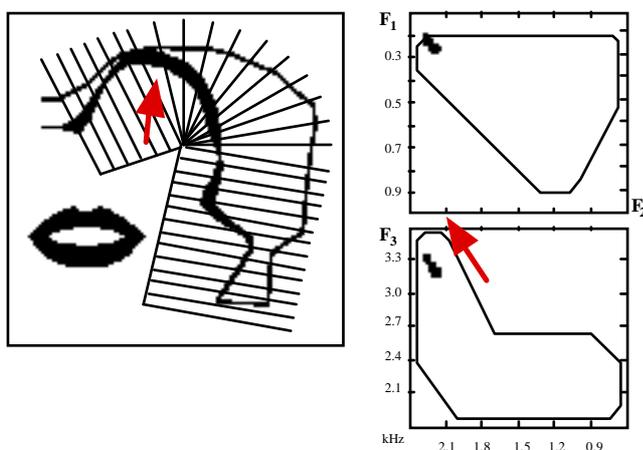
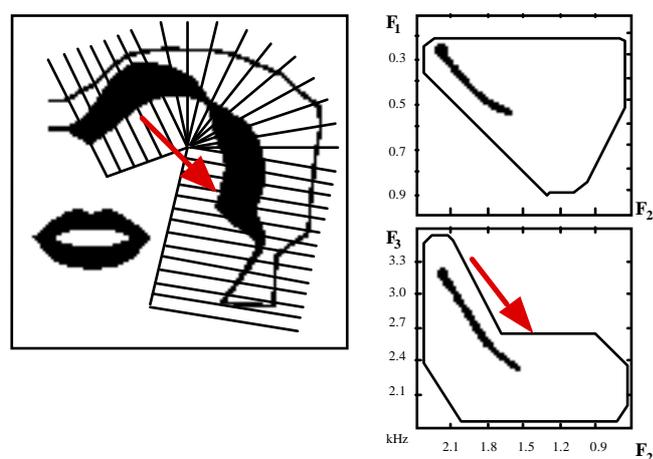


Figure 3.30 : Simulation d'une rétraction progressive du corps de la langue. Sur la coupe sagittale du conduit vocal sont superposés les différents contours de la langue correspondant à une élévation par pas de $.1\sigma$ à partir de la configuration de base. Les conséquences acoustiques de la rétraction de la langue apparaissent à droite sur les plans F1/F2 et F2/F3. La flèche indique le sens des variations allant de la configuration de base pour /i/ à la position de la langue la plus arrière.

Rétraction du corps de la langue



(b) modification au niveau de l'articulation labiale :

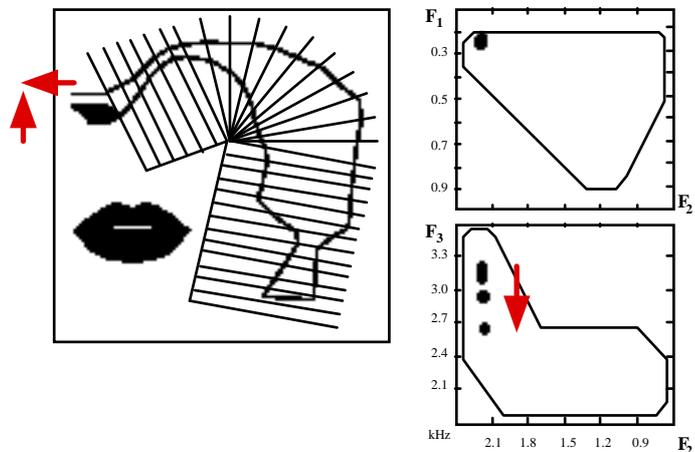
Si les variations d'articulation linguale existent (visibles sur les données EPG), les variations spectrales de /i/ en fonction de la position prosodique peuvent aussi résulter d'une variation de l'articulation au niveau des lèvres. Pour la voyelle /i/, une modification de F3 est généralement attribuée à une différence dans la labialité de la voyelle [voir entre autres Abry et al. 1980, Fougeron 1993]. Un abaissement de F3, et son rapprochement d'avec F2, sont les caractéristiques distinguant un /i/ d'un /y/ en français. Dans mon corpus, la voyelle /i/ est entourée de consonnes labiales /p_p/. La diminution progressive de F3, des positions supérieures aux positions inférieures, peut donc être le résultat d'une augmentation de la labialisation contextuelle de /i/.

Sur les spectrogrammes présentés sur la figure 3.27, on voit qu'en début de Mot, F3 commence assez bas et diminue plus fortement à la fin de la voyelle vers le /p/ suivant. En début de GA, F3 est plus haut et relativement stable. En début de GI, F3 est encore plus haut. Une différence de coarticulation entre les consonnes labiales et la voyelle pourrait donc expliquer l'abaissement de F3 si la voyelle est plus labialisée.

• La figure 3.31 présente les conséquences acoustiques de la simulation d'une augmentation progressive de la protrusion des lèvres (par pas de 0,5 écarts types) associée à une diminution progressive de l'écartement interlabial (par pas de 0,2 écarts types). On observe que la labialisation progressive de la voyelle /i/ provoque principalement un abaissement de F3, et a très peu d'effet sur F1 (qu'elle diminue légèrement) ou F2. Les variations de F3 observées pour les deux locuteurs en fonction de la position prosodique peuvent donc résulter d'une diminution progressive de la labialisation contextuelle de la voyelle, des positions basses aux position hautes.

Figure 3.31 : Simulation d'une protrusion et d'un arrondissement progressifs des lèvres. La protrusion est augmentée par pas de $.5\sigma$ et l'écartement interlabial est diminué par pas de $.2\sigma$ à partir de la configuration de base.

Protrusion et Hauteur des lèvres



La diminution de F2 observée en position Mi pour le locuteur 2M reste à expliquer. Le rapprochement de F3, particulièrement bas en Mi pour ce locuteur (fig. 3.26) peut pousser F2 vers le bas. Cette diminution peut également être la conséquence d'un changement plus dramatique dans la qualité de la voyelle. En général, pour la voyelle /i/, F2 est affilié à la cavité à l'arrière de la constriction linguale. Pour la voyelle /y/ par contre, une augmentation de la cavité antérieure par protrusion des lèvres peut provoquer un changement dans l'affiliation des formants aux cavités de façon à ce que F2 se trouve affilié à la cavité avant [Boé et al. 1992, Fougeron 1993]. Dans ce cas, F2 serait aussi affecté par la protrusion de la voyelle. A l'oreille, lorsqu'ils sont coupés de leur contexte, les /i/ en début de Mot sont très proches d'un /y/. Il se peut donc que, pour le locuteur 2M, la labialisation soit telle en début de Mot que F2 se trouve aussi affecté.

En position GI, la voyelle est séparée du /p/ précédant par une pause. L'influence labialisante de la consonne va donc en être diminuée. Pour les positions GAi et Mi, l'exemple de spectrogramme présenté figure 3.27 laisse

penser que la différence de labialisation de /i/ entre ces deux positions est fonction de la durée de l'intervalle temporel entre le relâchement de l'occlusion de /p/ et le début de la voyelle. Cette figure est trompeuse car l'axe temporel n'est pas identique entre les positions. Un examen statistique montre que la durée de l'intervalle entre le relâchement de /p/ et le début de /i/ (intervalle de friction, aspiration, ou glottalisation) a la même durée pour les positions GAi et Mi ($F(1,30)=4,3$; $p=0,5$ pour 1F, $F(1,29)=2,5$; $p=0,1$ pour 2M)⁴¹.

D.3. Conclusion I.D. : la voyelle /i/

L'articulation de la voyelle /i/ en position initiale dans une syllabe VC est affectée par sa position prosodique. Les indices d'une variation articulatoire sont donnés par des informations électropalatographiques et des informations spectrales.

Sur les données EPG, le degré de contact linguopalatal augmente du début de Mot aux débuts de GA et de GI. Cette variation va dans le sens des modifications observées pour les consonnes en fonction de la position prosodique : la constriction de la langue contre le palais est plus importante en début de constituant supérieur. Par contre, pour la voyelle, cette augmentation de contact ne distingue que le début de Mot des positions supérieures.

Les caractéristiques spectrales de la voyelle /i/ indiquent qu'il existe une variation articulatoire progressive entre les positions Mi, GAi et GIi qui se traduit par une augmentation progressive de F3. Les simulations articulatoires effectuées suggèrent que les variations spectrales de F3 peuvent résulter d'une diminution de l'influence labialisante des consonnes environnantes sur la voyelle dans les positions supérieures. Les variations de F3 peuvent aussi résulter d'une élévation progressive de la masse de la langue contre le palais. Mais dans ce cas, la stabilité de F1 dans les trois positions prosodiques reste à expliquer. L'augmentation de F2 en position GAi et GIi pour le locuteur 2M suggère que l'augmentation de contact dans ces positions reflète une antériorisation de l'articulation de /i/.

II. VARIATIONS ARTICULATOIRES SUR "L'UNITE" INITIALE DU CONSTITUANT PROSODIQUE : GROUPE DE CONSONNES /k/ ET SYLLABE CV INITIALE

Les résultats présentés dans la section précédente ont montré que l'articulation des consonnes et des voyelles en position initiale dans un groupe prosodique varie en fonction de la hauteur de ce constituant dans la hiérarchie prosodique. Jusqu'à maintenant, nous nous sommes intéressés au segment initial absolu dans une syllabe CV ou VC. Dans la section qui suit, il s'agira de voir si l'influence de la position prosodique se limite à ce segment initial absolu.

J'essaie d'évaluer si l'influence de la position prosodique est un effet local sur le premier élément du constituant prosodique ou s'il s'étend sur une unité plus grande, comme un groupe de consonnes initial (/k/, section B.I) ou une syllabe initiale CV (section B.II), en affectant les deux membres de l'unité.

II.A. Le groupe de consonnes /k/

On a vu dans la section précédente que l'articulation de la consonne /k/ et de la consonne /l/ varie en fonction de leur position prosodique lorsqu'elles sont la consonne initiale seule d'une syllabe CV⁴². Aux positions

⁴¹ On verra dans le chapitre V qu'il existe, par contre, des différences au niveau de la glottalisation de la voyelle entre ces deux positions.

⁴² Pour comparer les consonnes /k/ et /l/ des syllabes CV et CCV, on parlera de consonnes "seules" ou "isolées" dans le cas des syllabes CV

prosodiques supérieures (GIi, et aussi GAi pour 1F), /k/ a plus de contacts linguopalataux, une occlusion plus large qui s'étend vers l'avant du palais et une durée d'occlusion plus longue. Pour /l/, la variation articulatoire des positions Si à Mi à GAi-GIi se traduit par une augmentation du contact au niveau de l'occlusion centrale antérieure, une réduction de l'asymétrie des contacts latéraux et un rétrécissement du passage latéral.

Dans cette section, il s'agira de voir si l'articulation des consonnes /k/ et /l/ subit les mêmes modifications en fonction de la position prosodique lorsque ces consonnes se trouvent dans un groupe /kl/ à l'initiale d'une syllabe CCV. Je chercherai à voir si seule la consonne initiale absolue (/k/) du constituant prosodique est affectée par la position prosodique ou si les deux consonnes subissent l'influence de la position du groupe comme entité. Plus particulièrement, je vérifierai si l'articulation de la deuxième consonne du groupe (/l/) et la coordination temporelle entre les deux membres du groupe consonantique varient en fonction de la position du groupe.

Il faut garder à l'esprit que, dans cette étude, il n'est pas question de manipuler la frontière prosodique *entre* les deux consonnes /k/ et /l/ (comme dans les études présentées en introduction II.B.3, p. ex. Hardcastle 1985, Marchal 1985, 1987). Ici, les deux consonnes sont toujours tautosyllabiques dans le groupe consonantique /kl/. C'est le poids de la frontière prosodique *précédant* le groupe de consonnes qui est modifié. Ainsi, je compare des groupes /kl/ placés en début de mot ("Tonton et Tata Clara..."), en début de Groupe Accentuel ("Tonton, Tata, Clara...") et en début de Groupe Intonatif ("Pauvre Tata, Clara...").

A.1. Degré de contact linguopalatal pour la première consonne, /k/, dans le groupe /kl/ : variations spatiales

Pour /k/ isolé, l'augmentation du contact linguopalatal dans les positions supérieures se traduit par un élargissement de l'occlusion postérieure vers l'avant. Pour le /k/ de /kl/, je ne présenterai donc que le degré de contact sur cette région postérieure (les variations de contact sur la totalité des électrodes du palais suivent la même tendance).

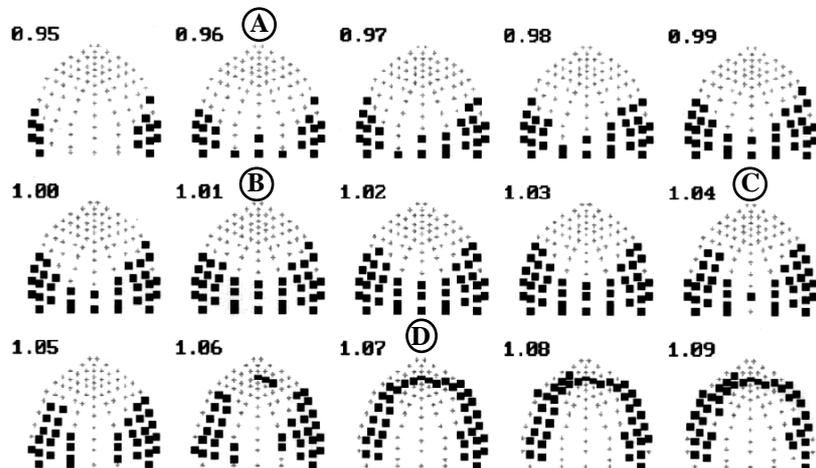
La consonne vélaire /k/ placée devant /l/ a un contact plus étroit et plus postérieur que la consonne /k/ isolée. Cette différence apparaît lorsque l'on compare les profils de contact de /k/ isolé (fig. 3.8) avec les exemples de contact présentés figure 3.32 pour la séquence /kl/ (point B). Cette différence articulatoire a souvent été notée dans la littérature et pour plusieurs langues [Simon 1967, Marchal 1985, 1987, Hardcastle 1985, Gibbon et al. 1993]. D'après ses données cinéradiographiques, Simon (1967) met en évidence ce phénomène, en français, en montrant que l'articulation de /k/ est palato-vélaire dans un groupe /kl/ alors qu'elle est palatale pour un /k/ isolé. Récemment, une étude articulatoire combinant des données EPG et EMA [Hardcastle et al. 1996] a montré que la postériorisation de /k/ dans un groupe /kl/ en anglais est la conséquence d'une inhibition de la trajectoire en boucle du dos de la langue lorsque la consonne postérieure est suivie de /l/. La région postérieure définie pour le /k/ de /kl/ est présentée sur la figure 3.33. Cette région est plus petite et moins antérieure que la région définie pour /k/ isolé. Elle comprend 14 électrodes et s'étend de la ligne la plus postérieure (ligne 1) à la ligne 5 située à peu près au milieu du palais dur. La mesure du degré de contact pendant l'articulation de /k/ est effectuée sur la première image présentant, à l'arrière du palais, un contact maximal et stable (qui ne varie pas dans les images suivantes). De cette manière, j'élimine les variations de contact sur les bords latéraux car il est difficile de savoir si ces contacts appartiennent à /k/ ou à la consonne antérieure suivante. Ce point de mesure est représenté par la lettre B sur la figure 3.32 qui illustre l'évolution temporelle du contact pour quelques exemples du groupe /kl/.

Dans le groupe /kl/, puisque la consonne est plus postérieure, la limitation des observations relative aux bordures postérieures du palais est d'autant plus importante. Dans ce contexte, il est fort probable que l'occlusion est vélo-palatale et que le palais artificiel ne présente qu'une information partielle du contact réel. Ici encore, mes observations ne sont valables que pour le contact visible sur le palais artificiel.

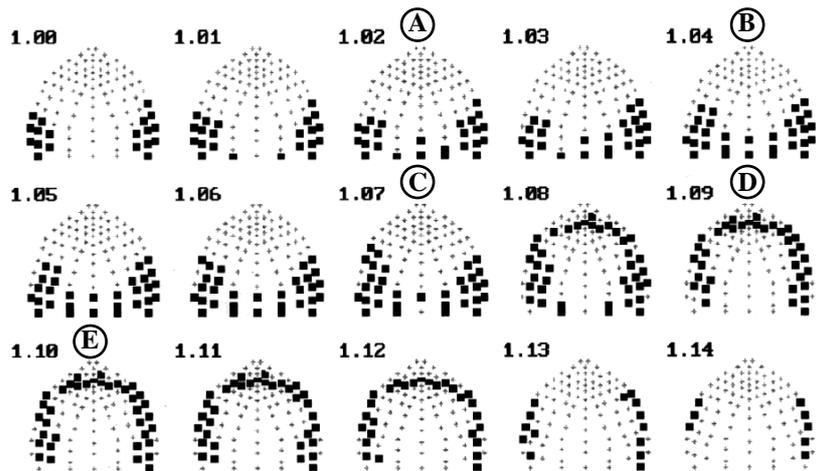
(/ka/ et /la/) et de consonnes "doubles" ou de "groupe de consonnes" dans le cas de la syllabe CCV (/kla/).

Figure 3.32 : Exemples de profils de contact linguopalatal pour le groupe de consonnes /k/ dans les 3 positions prosodiques étudiées. Les profils successifs se succèdent avec une image toutes les 10 ms. Les premières images apparaissent pendant le /a/ précédent. Le point (A) correspond à l'apparition de l'occlusion complète postérieure pour /k/, (B) indique le point où le contact est maximal pendant l'occlusion de /k/ (point de mesure du degré de contact), (C) correspond à la dernière image présentant une occlusion arrière (image précédant le relâchement), (D) indique le point où l'occlusion antérieure pour /l/ est formée et est la plus complète.

[k] Gi



[k] GAi



[k] Mi

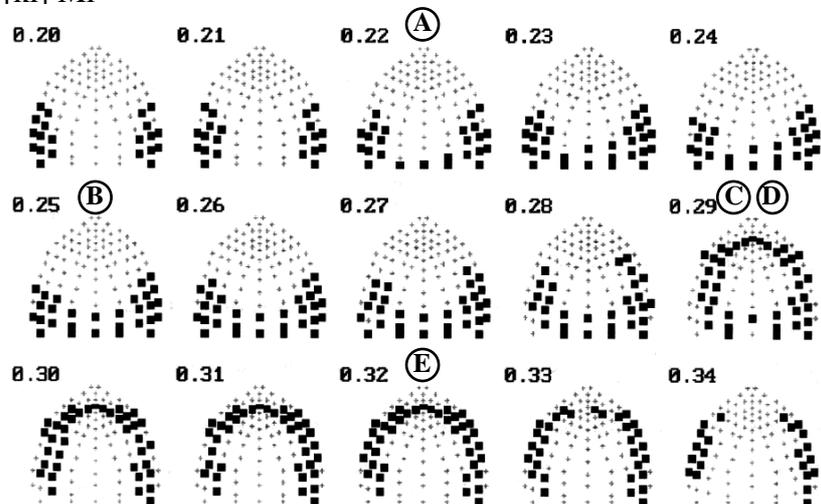


Figure 3.33 : Région postérieure (cadre grisé) définie pour /k/ dans le groupe de consonnes /kl/. Entre parenthèses est indiqué le nombre d'électrodes incluses dans la région. Les électrodes en noir donnent un exemple de profil de contact pour un /n/ produit par le locuteur 2M en position G*li*.

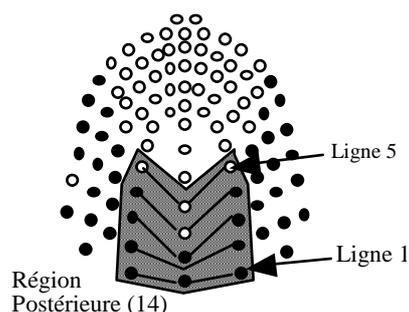


Figure 3.34 : Degré de contact linguopalatal postérieur pour /k/ dans le groupe /kl/ en fonction de la position prosodique. Exprimé en % d'électrodes contactées sur la région postérieure. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

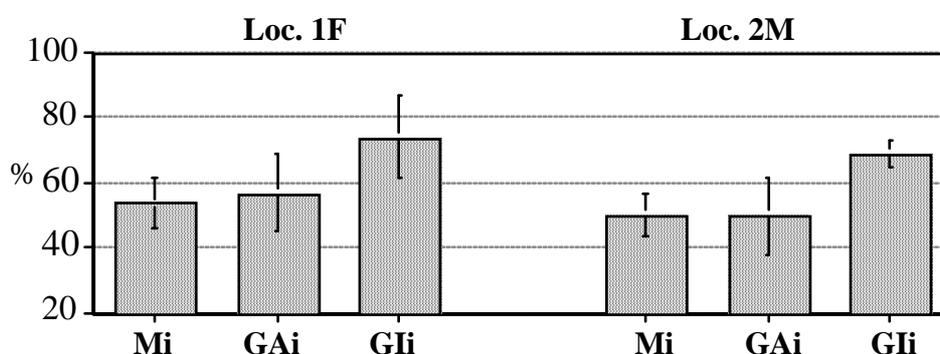


Tableau III.8 : Comparaisons entre positions prosodiques pour le groupe de consonnes /kl/ en termes de (1) degré de contact dans la région postérieure pour /k/ ; (2) degré de contact dans la région antérieure pour /l/ ; (3) degré de contact dans la région latérale droite et (4) gauche pour /l/ ; (5) l'index d'asymétrie des contacts latéraux pour /l/. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
Degré de contact postérieur /k/	F(2,42)=13,5; p=0,0001 Mi, G <i>Ai</i> <* G <i>li</i>	F(2,42)=25,4; p=0,0001 Mi, G <i>Ai</i> <* G <i>li</i>
Degré de contact antérieur /l/	F(2,41)=1,0; p=0,4 ns	F(2,41)=5,46; p=0,008 Mi <* G <i>Ai</i>
Degré de contact latéral droit /l/	F(2,41)=0,6; p=0,5 ns	F(2,41)=2,12; p=0,1 ns
Degré de contact latéral gauche /l/	F(2,41)=0,4; p=0,7 ns	F(2,41)=4,2; p=0,02 G <i>Ai</i> <* G <i>li</i>
Index d'asymétrie	F(2,41)=1,2; p=0,3 ns	F(2,41)=2,83; p=0,07 ns (G <i>Ai</i> <* G <i>li</i>)

Les pourcentages moyens (sur 15 répétitions) de contact sur la région postérieure sont illustrés sur la figure 3.34 et les résultats des comparaisons statistiques sont présentées dans le tableau III-8.

- La consonne initiale du groupe /kl/ varie de façon similaire à la consonne /k/ seule. Aux positions supérieures, l'occlusion postérieure s'élargit. Par contre, seules deux types de positions se distinguent par ces caractéristiques : pour les deux locuteurs, le contact augmente des positions Mi-G*Ai* à la position G*li*.
- Si l'on compare ces résultats aux différences observées pour les /k/ isolés, le locuteur 1F perd la distinction entre Mi et G*Ai* pour les /k/ dans un groupe /kl/, tandis que le locuteur 2M garde les mêmes distinctions (Mi,

G_{Ai} < G_{Ii}). Le fait que les différences de contact pour /k/ de /kl/ ne permettent de distinguer que deux types de positions (M_i, G_{Ai} vs. G_{Ii}) peut être la conséquence d'une saturation du contact à l'arrière du palais (où se fait la constriction principale pour toutes les positions). Le contact peut se différencier à l'arrière des limites du palais artificiel sans que l'on puisse l'observer.

A.2. Degré et distribution du contact linguopalatal pour la deuxième consonne, /l/, dans le groupe /kl/ : variations spatiales

L'articulation de la consonne /l/ dans le groupe de consonnes /kl/ est étudiée au point où le contact est maximal pour /l/ après la disparition de l'occlusion arrière et des contacts centraux postérieurs de /k/. Ce point correspond au point E sur la figure 3.32. L'occlusion centrale est généralement alvéolaire comme pour la consonne /l/ isolée. Par contre, la position du passage latéral de l'air est plus variable que dans le cas de la consonne isolée. Ce passage peut être situé à l'arrière au niveau des molaires, comme dans le cas des exemples présentés aux positions M_i et G_{Ii} sur la figure 3.32. Il peut être aussi beaucoup plus antérieur, au niveau des prémolaires, comme dans l'exemple présenté pour la position G_{Ai} et il peut aussi être double, à l'avant et à l'arrière (non illustré).

Pour caractériser les variations articulatoires de /l/ en fonction de la position prosodique, les régions antérieure et latérales définies pour la consonne isolée (fig. 3.20) sont utilisées. Les degrés de contact dans ces régions sont présentés sur les figures 3.35, pour la région antérieure, et 3.36 pour les régions latérales gauche (barres noires) et droite (barres blanches). Les comparaisons statistiques sont données dans le tableau III-8.

- Le locuteur 1F ne distingue aucune position prosodique par une variation significative du contact, ni sur la région antérieure, ni sur les régions latérales.
- Le locuteur 2M distingue les positions M_i et G_{Ai} par une augmentation de contact sur la région antérieure en G_{Ai}, et les positions G_{Ii} et G_{Ai} par une augmentation de contact sur le coté gauche en G_{Ii}. Sur le coté droit, le degré de contact ne varie pas en fonction de la position. Si l'on regarde les pourcentages moyens sur les graphes pour ce locuteur 2M, il semblerait que les différences significatives obtenues soient le reflet des caractéristiques spécifiques à la position G_{Ai} (beaucoup de contacts antérieurs et peu de contacts à gauche) et non une tendance générale d'augmentation progressive du contact entre les trois positions. Pourtant, je ne peux expliquer les caractéristiques particulières de cette position. Elles sont peut-être dues à la définition des régions.

Figure 3.35 : Degré de contact linguopalatal antérieur pour /l/ dans le groupe /kl/ en fonction de la position prosodique. Exprimé en % d'électrodes contactées sur la région antérieure (définie sur la figure 3.20). (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

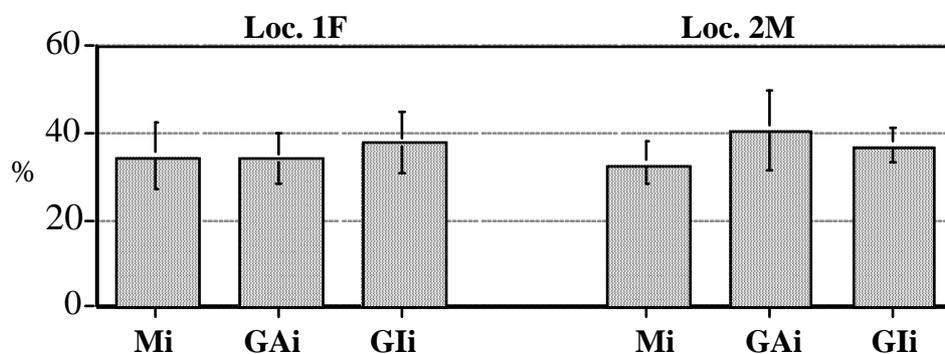


Figure 3.36 : Degré de contact linguopalatal latéral pour /l/ dans le groupe /kl/ en fonction de la position prosodique. Les barres blanches indiquent le degré de contact sur la région latérale droite, les barres noires sur la région latérale gauche. Exprimé en % d'électrodes contactées sur ces régions (définies sur la figure 3.20). (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

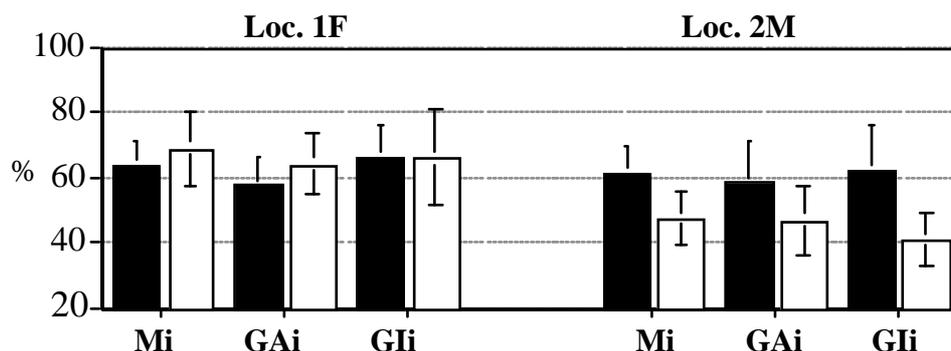
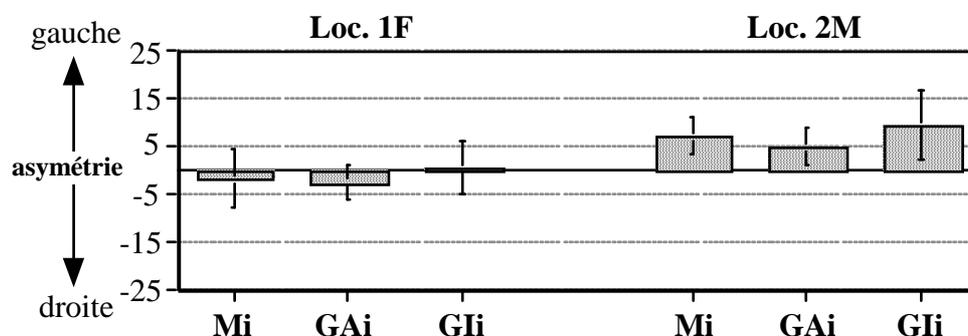


Figure 3.37 : Index d'asymétrie entre le contact linguopalatal dans les régions droite et gauche pour /l/ dans le groupe /kl/. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)



La figure 3.37 présente l'indice d'asymétrie calculé entre les contacts dans les régions droite et gauche du palais.

- Comparés aux /l/ isolés (fig. 3.23), les /l/ dans les groupes /kl/ ont un contact beaucoup moins asymétrique⁴³, particulièrement dans les positions inférieures comme Mi. Dans le groupe de consonnes /kl/, on n'observe pas de réduction de l'asymétrie des contacts latéraux, comme celle observée pour les /l/ isolés en position haute. Au contraire, on note en position GLi une augmentation de l'asymétrie par rapport à GAi pour le locuteur 2M. Ceci est le reflet de la différence de contact dans la région latérale gauche relevée précédemment.

En conclusion, la deuxième consonne dans le groupe /kl/, ne subit pas les mêmes modifications que la consonne seule initiale de syllabe. Pour un locuteur, le degré et la distribution du contact de /l/ dans le groupe /kl/ ne varient pas en fonction de la position prosodique. Pour l'autre locuteur, on observe des variations entre des positions isolées qui semble être le reflet de particularités inhérentes à la position GAi, plutôt qu'à une tendance graduelle en fonction de la position prosodique.

⁴³ Dans le contexte /kl/ le contact latéral pour /l/ peut être moins asymétrique du fait que la langue part de la configuration articulaire de /k/ avant de se relever vers l'avant pour l'occlusion alvéolaire. Ainsi, l'ancrage préalable de la langue sur les bords latéraux du palais pour l'occlusion centrale de /k/ peut diminuer l'asymétrie des contacts latéraux pour le /l/ suivant.

A.3. Coordination temporelle entre les gestes postérieur pour /k/ et antérieur pour /l/ dans le groupe /kl/

Le groupe consonantique /kl/ est particulièrement intéressant car il implique la coordination de deux parties de la langue (la pointe et le corps) pour des occlusions dans deux zones éloignées du conduit vocal (alvéolaire et palato-vélaire). Dans cette section, je vais examiner la cohésion temporelle entre le geste postérieur de /k/ et le geste antérieur de /l/ en fonction de la position prosodique du groupe de consonnes.

Étiquetage temporel des événements articulatoires pendant la séquence /kl/ :

Suivant les études, la définition des "étiquettes" correspondant aux événements articulatoires et la façon de les mesurer (à partir des données EPG chez Hardcastle 1985, Marchal et al. 1995, ou aérodynamiques chez Gibbon et al. 1993) peuvent varier, mais l'idée reste la même. Pour comprendre l'évolution du contact linguopalatal dans la séquence /kl/, regardons la figure 3.32. Les profils de contact successifs pendant l'articulation du groupe /kl/ sont présentés avec une image palatographique toutes les 10 ms. Pour les 3 positions, les premières images correspondent à la fin du /a/ précédent avec un contact latéral postérieur et pas d'occlusion. Au point A, l'occlusion arrière apparaît sur le palais pour le /k/ et atteint un contact maximal au point B. Au point C le barrage occlusif à l'arrière du palais se relâche pour disparaître à l'image suivante⁴⁴. L'évolution du contact de /k/ à /l/ se fait par une progression graduelle du contact sur les bords latéraux du palais ; le contact central alvéolaire apparaît pour former l'occlusion antérieure pour la consonne /l/ au point D et le maximum de contact pendant cette occlusion est noté au point E.

L'évolution du contact antérieur pour /l/ varie entre les répétitions et l'étiquetage de /l/ n'est pas aisé. Le contact antérieur apparaît soit latéral (ex. Mi, image 0.28), soit médian (ex. GIi, image 1.06). Il est parfois très progressif (l'activation des électrodes progresse sur plusieurs images successives), parfois l'occlusion apparaît d'un seul coup. Dans la littérature, l'approche du mouvement de la pointe de la langue pour /l/ est généralement mesuré au point où le contact apparaît dans la région antérieure du palais (qui correspondrait à l'image précédant le point D dans la fig. 3.32 en position GIi)⁴⁵. Dans mon étude, je n'ai pas choisi l'apparition du contact antérieur comme étiquette car ce point n'apparaît jamais sur plus de 4 images (40 ms.) après le relâchement de l'occlusion de /k/. Une variation sur 4 images est sûrement trop grossière pour rendre compte des variations articulatoires subtiles entre les positions prosodiques⁴⁶. J'ai donc choisi un événement temporel pour /l/ qui arrive un peu plus tard dans le temps par rapport au relâchement de /k/ afin d'augmenter le nombre d'échantillon (images) entre ces deux événements. Cet événement est le point où le barrage occlusif antérieur à travers le palais est le plus large dans la séquence (point D). Il peut correspondre à une occlusion totale (ex. en GIi et Mi, fig. 3.32) ou à une occlusion partielle avec une ouverture latérale antérieure (ex. en GAi, fig. 3.32) ; dans ce cas l'occlusion n'est jamais plus complète pendant la séquence.

Ce que j'entends par coordination temporelle et chevauchement

La coordination temporelle entre les gestes d'élévation/abaissement du corps de la langue pour l'occlusion de /k/ et de la pointe de la langue pour l'occlusion de /l/, peut être étudiée en comparant la succession du relâchement

⁴⁴ Ici, je considère que la disparition des contacts formant l'occlusion visible à l'arrière du palais correspond au relâchement de l'occlusion de /k/. Il est possible que le contact disparaisse sur le palais mais que l'occlusion soit maintenue à l'arrière des limites du palais artificiel. Pourtant, dans mes données, cela ne semble pas être le cas : (1) l'examen acoustique des signaux montre que le burst de /k/ (lorsqu'il est visible) correspond à cette phase de disparition des contacts postérieurs; (2) pour la plupart des répétitions, comme celles présentées figure 3.32, la disparition de l'occlusion à l'arrière du palais commence sur l'image précédente par une perte du contact de la dernière électrode sagittale médiane. Ceci laisse penser que le relâchement de l'occlusion se fait aussi, à cet instant, dans la partie postérieure au palais artificiel.

⁴⁵ L'approche de /l/ est définie chez Hardcastle (1985) comme "the first indication of tongue movement toward /l/ position"; chez Gibbon et al. (1993) comme "the first frame with any of the four mid-sagittal electrodes contacted in the first four rows"; chez Marchal et Meynadier (1995) comme le moment où la première électrode ou le premier groupe d'électrodes tendent à se rejoindre de part et d'autre du palatogramme pour réaliser l'occlusion dans la zone centrale pour /l/.

⁴⁶ Dans les données présentées dans la littérature, le système de Reading (Reading multi sensor system) est le plus souvent utilisé. Il capture les données EPG avec une fréquence d'échantillonnage de 200Hz (150Hz pour Hardcastle, 1985). De ce fait, les auteurs jouissent d'une plage de variation beaucoup plus grande pour comparer la durée de cet intervalle avec une image palatographique toutes les 5 ms (7.5 ms. pour Hardcastle 1985). Par exemple, Gibbon et al. (1993) présentent un exemple de séquence /kl/ en italien (fig. 1 p.264) sur lequel l'intervalle entre le relâchement de /k/ et l'apparition du contact antérieur couvre 9 images (45 ms.). Marchal et Meynadier (1995) présentent des exemples de /kl/ en français avec un intervalle couvrant 6 images (30 ms., fig.1) et 8 images (40 ms., fig. 2).

de l'occlusion de /k/ (point C) et l'apparition de l'occlusion antérieure pour /l/ (point D)⁴⁷. Dans l'exemple présenté pour la position GIi, la dernière image présentant une occlusion arrière visible sur le palais (1.04, point C) est suivie d'une image où le profil des contacts latéraux est stable et l'occlusion arrière est relâchée (1.05). Ce n'est qu'à l'image suivante que le début du contact sagittal médian apparaît (1.06). L'occlusion alvéolaire antérieure n'est complète qu'à l'image suivante (1.07, point D). Dans l'exemple présenté pour la position GAi, la phase intermédiaire où le conduit vocal est ouvert entre les deux occlusions n'apparaît pas. La dernière image présentant une occlusion arrière (1.07, point C) est immédiatement suivie de l'apparition du contact antérieur qui forme une occlusion alvéolaire presque complète (1.08) ; l'occlusion totale (1.09, point D) apparaît ensuite. Dans l'exemple présenté pour la position Mi, l'occlusion antérieure pour /l/ apparaît avant même que l'occlusion postérieure soit relâchée. Au point C-D (0.29), il y a une double occlusion dans le tracus vocal.

L'intervalle temporel entre les points C et D rend compte du chevauchement entre le geste de relâchement de l'occlusion arrière et le geste d'élévation de la partie postérieure de la langue pour former l'occlusion alvéolaire. Cet intervalle est appelé "l'intervalle inter-gestes" [Gibbon et al. 1993, Marchal & Meynadier 1995]. Dans les exemples de la figure 3.32, l'intervalle est de 30 ms. en position GIi ((1.07-1.04)*1000), 20 ms. en position GAi et de 0 ms. en position Mi (une image avec double occlusion)⁴⁸. Ces exemples ont été choisis pour illustrer différents types de coordination temporelle. Comme nous le verrons par la suite, ils ne sont pas tout à fait représentatifs des caractéristiques de chaque position. En effet, il y a beaucoup de variation entre les répétitions, tant dans le type de coordination temporelle, que dans la durée des événements articulatoires. Par exemple, l'intervalle entre les points C et D peut correspondre à une phase d'ouverture du conduit entre les deux occlusions variant entre 0 et 4 images (0-40 ms.), ou à une phase de double occlusion variant de 1 à 3 images (10 à 30 ms).

Dans cette étude, la coordination temporelle entre les gestes associés à /k/ et à /l/ en fonction de la position prosodique du groupe est examinée à l'aide de 3 types de paramètres : (a) la durée totale du groupe et de ses éléments ; un indice de chevauchement ; la fréquence d'apparition de cas présentant une occlusion antérieure simultanée ou précédant le relâchement de l'occlusion arrière en fonction de la position prosodique.

A3.a. Durée du groupe de consonnes /kl/ et de ses éléments

La figure 3.38 présente la succession temporelle de différents événements articulatoires dans la séquence de consonne /kl/, en fonction de la position prosodique du groupe de consonnes. L'apparition de l'occlusion arrière pour /k/ sur le palais (point A sur la fig. 3.32) est alignée au point zéro et le relâchement de l'occlusion est indiqué au point C. Au point D, est notée l'apparition de l'occlusion antérieure pour /l/. Le point F indique le début acoustique de la voyelle /a/ suivante (V2). Pour les mesures de durées effectuées sur le signal EPG, il faut rappeler que l'erreur est de 9 ms. pour une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz.

- Sur cette figure 3.38, il apparaît clairement que la *durée totale du groupe de consonnes* (F-A) varie en fonction de la position prosodique. Pour les deux locuteurs, le groupe de consonnes est plus long en début de GI qu'en début de GA, lui-même plus long qu'en début de Mot.

A l'intérieur du groupe on peut distinguer 3 intervalles différents qui peuvent participer à l'allongement du groupe de consonnes en fonction de la position prosodique : la durée de l'occlusion de /k/ (C-A), la durée du contact antérieur pour /l/ (F-D) et la durée de l'intervalle entre le relâchement de l'occlusion arrière et l'apparition de l'occlusion antérieure (intervalle inter-gestes D-C). Le tableau III.10 donne les durées moyennes de ces intervalles.

- La *durée de l'occlusion de /k/* (en noir sur la fig. 3.39) varie en fonction de la position prosodique et permet de distinguer les mêmes positions que pour /k/ isolé : /k/ dans /kl/ est allongé en position GIi par rapport aux positions inférieures (GAi et Mi) pour les deux locuteurs.

⁴⁷ Comme je l'ai déjà mentionné, l'EPG ne me permet pas de voir le début des mouvements articulatoires, comme le début de l'élévation de la pointe de la langue vers le palais pour la formation de /l/ par exemple. C'est seulement à partir du moment où la langue atteint une certaine hauteur que l'information de son déplacement apparaît sur le palais. Donc, quand je parle de coordination temporelle entre tel ou tel geste, il faut bien garder à l'esprit que je ne considère que le début des conséquences palatographiques de ces gestes.

⁴⁸ Les durées (en ms.) présentées dans la littérature pour l'intervalle entre le relâchement de /k/ et l'apparition du contact antérieur correspondent globalement à nos observations. Marchal et Meynadier présentent des durées moyennes pour cet intervalle entre 27 ms ($\sigma=16$) pour des groupes de consonnes /kl/ insérés dans des phrases et 73 ms. ($\sigma=35$) pour des mots isolés. Pour le français, Gibbon et al. présentent des durées assez longues, d'environ 75 ms avec un écart type (σ) de 35 ms., alors que pour les autres langues, l'intervalle est généralement compris entre 25 et 50 ms.

- La durée du contact antérieur pour /l/ (en blanc sur la fig. 3.39) n'est pas affectée par la position prosodique pour les deux locuteurs.
- La durée de l'intervalle inter-gestes (en hachuré sur la fig. 3.39) varie en fonction de la position prosodique. En début de Mot, cet intervalle est court car l'occlusion antérieure pour /l/ apparaît en même temps ou très tôt après le relâchement de l'occlusion de /k/. En début de GI, la succession entre ces deux événements est plus longue et l'intervalle est plus grand. Pour les deux locuteurs, la durée de l'intervalle inter-gestes différencie les positions Mi et GIi. Pour le locuteur 2M, la position GAi se distingue de la position GIi par un intervalle aussi court qu'en position Mi. Pour le locuteur 1F, la position GAi ne se distingue ni de la position Mi, ni de la position GIi.

Le manque de significativité de certaines comparaisons peut être expliqué par la grande variabilité dans la durée de cet intervalle entre les répétitions au sein d'une même position prosodique. De plus, pour un intervalle temporel court comme celui-ci, la faible fréquence d'échantillonnage ne permet qu'une comparaison sur seulement quelques images palatographiques (3-4 maximum).

Figure 3.38 : Durée du groupe de consonnes /kl/ et de ses éléments en fonction de la position prosodique du groupe. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

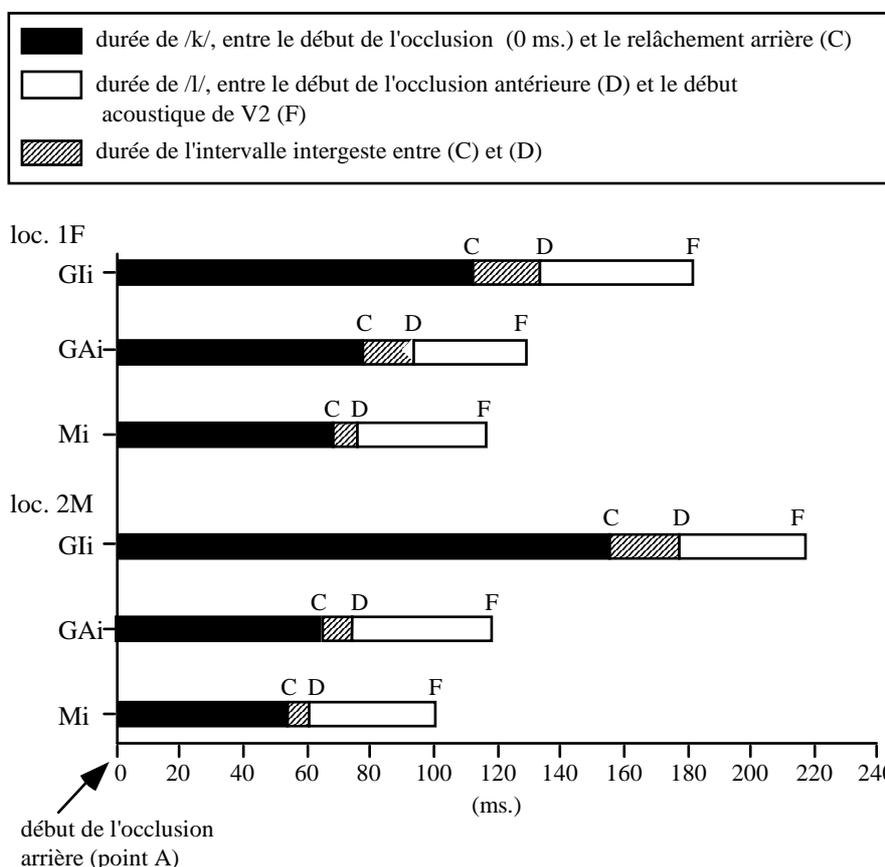


Tableau III.9 : Comparaisons entre positions prosodiques des caractéristiques temporelles du groupe de consonnes /kl/, en termes de (1) durée totale du groupe /kl/ ; (2) durée de /k/ du début de l'occlusion visible sur le palais au relâchement de celle-ci ; (3) durée de /l/ du début de l'occlusion antérieure au début acoustique de V2 ; (4) durée de l'intervalle inter-gestes entre le relâchement de /k/ et le début de l'occlusion de /l/ ; (5) indice de chevauchement CI (voir texte). Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
Durée du groupe /kl/ (F-A)	F(2,40)=24,6; p=0,0001 Mi <* GAi <* GIi	F(2,42)=141,6; p=0,0001 Mi <* GAi <* GIi
Durée de l'occlusion de /k/ (C-A)	F(2,42)=13,6; p=0,0001 Mi, GAi <* GIi	F(2,42)=108,3; p=0,0001 Mi, GAi <* GIi

Durée de /l/ (F-D)	F(2,38)=1,9; p=0,2 ns	F(2,42)=0,22; p=0,8 ns
Intervalle inter-gestes (D-C)	F(2,42)=2,98; p=0,06 ns Mi <* G _{li}	F(2,42)=3,94; p=0,03 Mi, G _{Ai} <* G _{li}
Indice de Chevauchement	F(2,42)=1,0; p=0,4 ns	F(2,42)=0,5; p=0,6 ns

Tableau III.10 : Durée moyenne du groupe de consonnes /k/ et de ses éléments en fonction de la position prosodique. Moyenne sur 15 répétitions. Les écarts types sont indiqués entre parenthèse.

		Durée /k/ (F-A)	occlusion /k/ (C-A)	occlusion /l/ (F-D)	interv.inter-gestes (D-C)
Loc. 1F	Mi	112 (15)	68 (12)	40 (7)	8 (11)
	G _{Ai}	134 (23)	77 (13)	35 (9)	16 (12)
	G _{li}	182 (38)	112 (38)	43 (15)	22 (21)
Loc. 2M	Mi	100 (11)	53 (17)	40 (13)	7 (18)
	G _{Ai}	118 (14)	65 (17)	42 (15)	10 (16)
	G _{li}	216 (30)	155 (27)	40 (9)	21 (9)

En résumé, la durée du groupe /k/ augmente progressivement en fonction de la position prosodique. Cet allongement résulte principalement de l'allongement de l'occlusion de /k/ pour les deux locuteurs. L'intervalle temporel entre le geste d'élévation de la langue pour /l/ et le relâchement de la constriction arrière pour /k/ participe aussi, pour certaines positions, à l'allongement du groupe par une augmentation du délai entre ces deux événements. Par contre, la durée de l'occlusion antérieure pour la seconde consonne, /l/, n'est pas affectée par la position prosodique.

A3.b. Indice de Chevauchement

Comme on vient de le voir, la succession temporelle entre le geste associé à /l/ et le geste associé à /k/ (intervalle D-C) varie en fonction de la position prosodique : l'intervalle entre les deux gestes est généralement plus long en position G_{li}. Cela signifie-t-il que la coordination temporelle entre les deux gestes varie en fonction de la position prosodique?

La durée de l'occlusion de /k/ dans les positions supérieures s'allonge également. Il est possible que l'allongement de l'intervalle inter-gestes soit la conséquence d'un allongement global du geste de /k/, mais que le déphasage entre les deux gestes ne soit pas modifié. Dans cette section, je me sers d'un indice de chevauchement à analyser à quel moment, dans l'articulation de /k/, commence l'articulation de /l/.

L'indice de chevauchement (IC) mesure la durée entre l'apparition de l'occlusion de /l/ par rapport au début de l'occlusion de /k/ et s'exprime en pourcentage de la durée de /k/ [Gibbon et al. 1993⁴⁹]. Ainsi, l'indice tient compte des variations dans la durée de /k/ et mesure si l'apparition de l'occlusion de /l/ apparaît toujours dans un même ratio par rapport au début de la première consonne. L'indice est calculé à partir de la formule suivante :

$$IC = \frac{\text{occlusion /k/ (A)} - \text{occlusion antérieure /l/ (D)}}{\text{occlusion /k/ (A)} - \text{relâchement /k/ (C)}} * 100$$

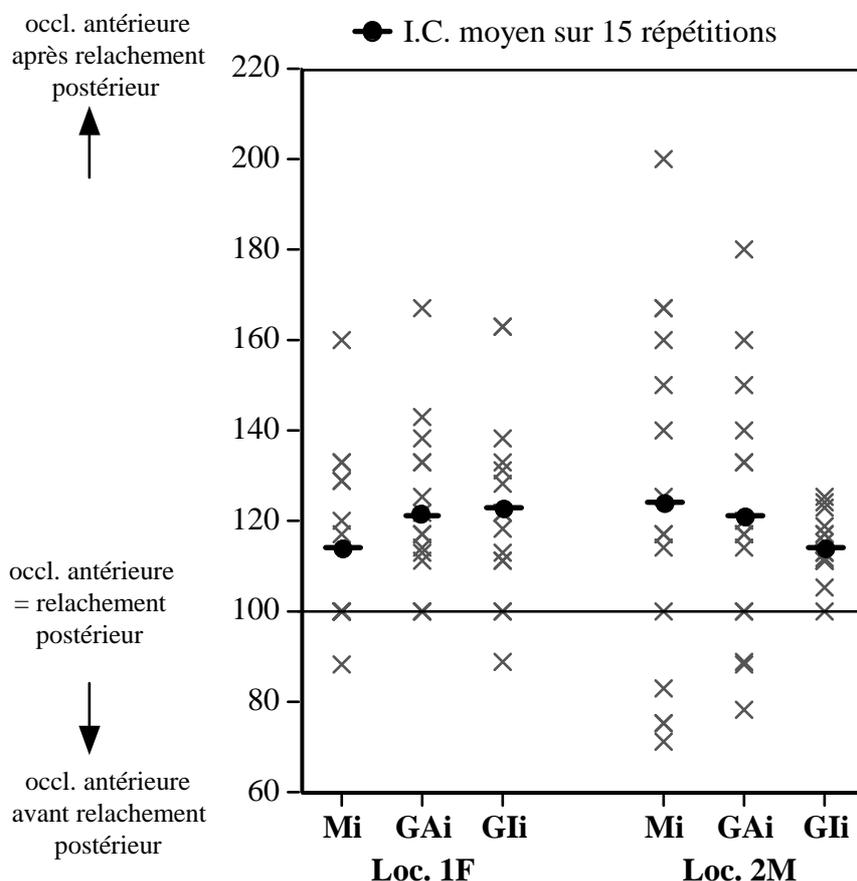
La figure 3.39 présente les indices de chevauchement calculés pour les 15 répétitions de /k/ aux trois positions prosodiques produites par les deux locuteurs. L'indice de chevauchement moyen (sur les 15 répétitions) est indiqué par un cercle. Un indice de chevauchement égal à 100 indique que l'occlusion antérieure pour /l/ apparaît en même temps que le relâchement de l'occlusion arrière pour /k/. Un indice de chevauchement

⁴⁹ Dans Gibbon et al. (1993) et Marchal et Meynadier (1995) l'étiquette correspondant à /l/ dans le calcul de cet indice est l'approche du mouvement lingual antérieur estimé au point d'apparition de contact dans la région antérieure centrale. Pour moi, l'étiquette correspondant à /l/ est le point où l'occlusion antérieure est la plus complète.

inférieur à 100 indique que l'occlusion de /l/ apparaît avant le relâchement de /k/ et donc qu'il y a une double occlusion antérieure et postérieure. Un indice supérieur à 100 indique que l'occlusion de /l/ apparaît après le relâchement de l'occlusion de /k/. La valeur de l'indice de chevauchement donne également des informations sur la succession des événements dans le temps : un indice fort montre que pour une durée de /k/ constante, l'occlusion pour /l/ se forme bien après que le /k/ soit relâché, alors qu'un indice faible montre que ces deux événements sont moins espacés dans le temps.

- Il apparaît sur ce graphe que l'occlusion antérieure pour /l/ se forme le plus souvent après le relâchement de l'occlusion pour /k/. En moyenne, l'indice de chevauchement est supérieur à 100 aux trois positions prosodiques examinées et la différence entre les positions est faible. La comparaison statistique entre les indices de chevauchement aux trois positions prosodiques ne montre d'effet significatif de la position pour aucun des locuteurs (tableau III-9).

Figure 3.39 : Index de chevauchement (I.C.) entre /k/ et /l/ dans le groupe de consonnes /kl/ en fonction de la position prosodique. L'index est calculé par la formule : $((\text{début occl. /k/} - \text{début occl. /l/}) / (\text{début occl. /k/} - \text{relâchement /k/})) * 100$ (avec occl. = occlusion). Les croix représentent les I.C. pour toutes les répétitions et le cercle barré le I.C. moyen calculé sur les 15 répétitions. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)



On a vu dans la section précédente que la durée de /k/ est plus longue en début de GI et GA par rapport au début de mot. D'autre part, la durée de l'intervalle inter-gestes s'allonge en début de GI par rapport au début de Mot. Ces deux allongements signifient que :

- (1) l'apparition de l'occlusion de /l/ se fait plus tard par rapport au début de /k/ dans la position GIi
- (2) la fin de /k/ apparaît plus tard par rapport au début de /k/. Pourtant, le délai dans l'apparition de l'occlusion de /l/ ne reflète pas une diminution du chevauchement entre les gestes de /k/ et /l/, puisque l'indice de chevauchement est similaire aux 3 positions prosodiques. En effet, l'allongement du délai d'apparition de l'occlusion de /l/ (A-D) est proportionnel à l'allongement de la consonne /k/ (A-C). De cette façon, l'apparition du geste associé à /l/ apparaît toujours dans une même proportion (environ 120%) par

rapport au début de /k/. La coordination temporelle entre les deux événements n'est donc pas affectée par la position prosodique.

Il existe une forte variation dans la valeur de l'indice de chevauchement au sein d'une même position prosodique et cette variation apparaît clairement sur la dispersion des points dans la figure 3.39. Pour le locuteur 1F, l'indice de chevauchement varie de façon similaire entre les 3 positions. Par contre pour le locuteur 2M, la variation semble diminuer avec l'élévation du groupe de consonnes dans la position prosodique. En début de mot, le délai d'apparition de l'occlusion de /l/ varie fortement, l'occlusion peut se former bien avant le relâchement de /k/ ou bien après. Par contre en début de GI, l'indice de chevauchement varie très peu entre les 15 répétitions de /kl/. Byrd montre aussi qu'en position forte (attaque vs. coda) le chevauchement entre les gestes est moins variable. Elle explique ce phénomène par une coordination temporelle plus stricte entre les gestes associés aux deux consonnes. Dans notre étude, il est possible qu'en position GIi, la coordination temporelle entre les gestes de /k/ et /l/ soit plus stricte ce qui se traduit par moins de variation. Mais cette hypothèse n'est confirmée que pour un locuteur. Une autre explication est possible : pour ce locuteur 2M qui allonge très fortement /k/ en position GIi, le délai d'apparition de /l/ ne peut pas varier davantage (et particulièrement augmenter) sans que le groupe de consonnes atteigne une longueur démesurée.

A3.c. Distribution des cas de double occlusion

Si l'occlusion de /l/ se forme le plus souvent après le relâchement de /k/, il existe aussi des cas où l'occlusion apparaît simultanément ou même avant le relâchement de l'occlusion arrière. Sur la figure 3.39, ces cas correspondent aux points ayant un indice de chevauchement égal ou inférieur à 100. Sur cette figure, ces points se superposent et il n'est pas facile de comparer leur distribution. Le tableau III-11 présente la distribution de ces cas en fonction de la position prosodique du groupe /kl/. Pour chaque position, le nombre (et le pourcentage) de cas présentant une occlusion antérieure simultanée ou anticipée par rapport au relâchement de l'occlusion arrière est indiqué.

- Pour les deux locuteurs, ces cas apparaissent beaucoup plus fréquemment en début de Mot qu'en début de GI. En fonction du locuteur, la position GAi partage les caractéristiques du début de Mot (2M) ou du début de GI (1F).

Tableau III.11 : Fréquence d'apparition de cas où l'occlusion antérieure de /l/ se forme simultanément, ou avant le relâchement de l'occlusion de /k/. Le nombre de cas est indiqué entre parenthèses, sur 15 répétitions.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
Mi	53% (8)	33% (5)
GAi	20% (3)	33% (5)
GIi	20% (3)	7% (1)

A.4. Conclusion II.A. : le groupe de consonnes /kl/ :

La position prosodique apparaît comme ayant un effet local sur le premier élément d'un groupe de consonnes. Dans le groupe /kl/ étudié, les variations de position prosodique affectent essentiellement l'articulation de /k/.

Les variations articulatoires sont semblables à celles observées pour une consonne /k/ seule : en position prosodique élevée, la consonne /k/ du groupe /kl/ a un contact linguopalatal plus important et une durée d'occlusion plus longue. Par contre l'articulation de la seconde consonne, /l/, n'est pas affectée par la position prosodique, tant dans ses caractéristiques spatiales que temporelles.

La coordination temporelle entre les gestes d'occlusion correspondant à /k/ et à /l/ ne semble pas non plus affectée par la position prosodique du groupe de consonnes. Aux positions prosodiques supérieures, même si la durée totale du groupe augmente et l'intervalle entre les deux gestes est plus long, le geste d'occlusion pour /l/

apparaît toujours dans la même proportion par rapport au début de /k/. Pourtant, s'il n'y a pas, en moyenne, de différence de coordination entre les gestes, les cas de chevauchement et de double occlusion sont plus fréquents en début de Mot qu'en début de GI.

II.B. La syllabe initiale CV /na/ : caractéristiques spectrales de la voyelle /a/

Nous avons vu que la consonne initiale d'une syllabe CV a un contact linguopalatal plus important au début d'un constituant prosodique supérieur. Cette variation articulatoire en fonction de la position prosodique pourrait s'étendre au delà de la consonne et affecter la voyelle suivante. Dans cette section, je cherche à déterminer si la voyelle d'une syllabe initiale CV est aussi affectée par la position prosodique de la syllabe. J'étudie la voyelle /a/ de la syllabe /na/ utilisée dans la section I.A. pour l'examen de l'articulation linguale de /n/.

La voyelle /a/ est la voyelle la plus ouverte du français et pour cela elle ne présente que très peu de contact linguopalatal. Sur le profil de contact présenté sur la figure 2.9 (chapitre Méthode), nous avons vu que le contact linguopalatal pour cette voyelle se limite aux bords latéraux arrière sur les molaires. La faiblesse du contact linguopalatal est la conséquence d'une position très abaissée du corps de la langue et de la mâchoire. Cette voyelle a été choisie dans notre corpus justement parce qu'elle n'a pas beaucoup de contact linguopalatal, et donc, parce qu'elle influence guère le contact consonantique. En contre partie, l'EPG ne semble pas être la méthode adéquate pour étudier les variations articulatoires pour cette voyelle ouverte. J'examine donc indirectement les variations articulatoires de /a/ d'après ses caractéristiques spectrales. Le formant F1 me renseigne sur le degré d'ouverture de la voyelle, c'est à dire sur l'élévation de la langue et de la mâchoire. Le formant F2 me renseigne sur la position de la langue sur l'axe antéro-postérieur.

Les valeurs formantiques F1 et F2 de la voyelle /a/ dans les syllabes /na/ sont présentés sur la figure 3.40. J'examine ici uniquement les positions Mi, GAi, GIi et Pi pour lesquelles le /a/ est en contexte /n_d/ ("Nadia"). La position Si a été éliminée car les /a/ sont dans un contexte différent (/n_b/ "Annabelle"). Le tableau III-12 présente les résultats des comparaisons statistiques en fonction du facteur 'position de la syllabe'.

- La position prosodique a un effet significatif sur la valeur des formants F1 et F2 pour les deux locuteurs. Pourtant, les variations ne semblent pas suivre la hiérarchie prosodique. Pour F1, seule la position GIi se différencie des autres positions par un F1 légèrement plus bas, ceci pour les deux locuteurs. Dans cette position uniquement la voyelle semble donc plus fermée.
- Pour F2, la tendance est encore moins claire. Seule la position GAi se différencie avec, pour le locuteur 1F, un F2 plus bas et pour le locuteur 1F, un F2 plus élevé.
- Les variations spectrales de /a/ ne semblent pas être fonction de la durée de la voyelle qui varie également en fonction de la position prosodique sans suivre une tendance linéaire (Tableau III-12). Les voyelles /a/ dans la syllabe CV en début de Mot semblent plus longues pour les deux locuteurs. Les modifications de durée dans les autres positions varient en fonction du locuteur.

Figure 3.40 : Fréquence des formants F1 et F2 de la voyelle /a/ de la syllabe initiale /na/ en fonction de la position prosodique de la syllabe. A noter, l'élévation de F2 pour ce /a/ placé dans un contexte antérieur ("Nadia"). (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)

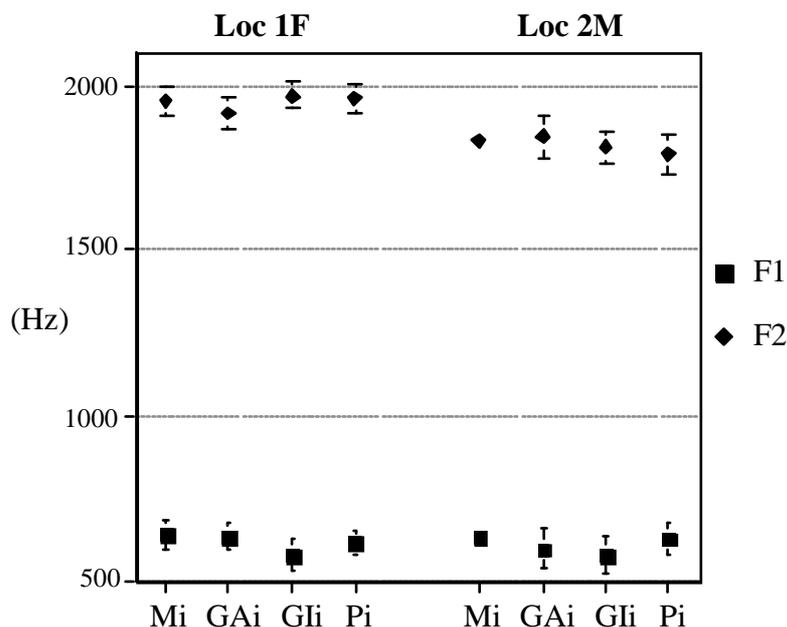
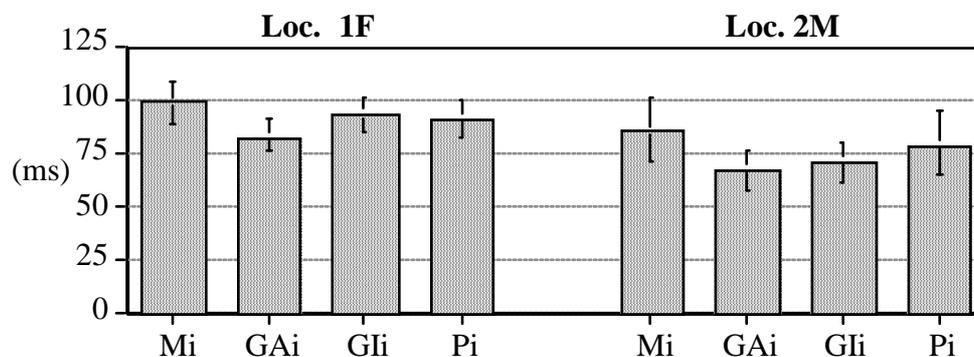


Tableau III.12 : Formants F1 et F2 et durée de /a/ dans la syllabe /na/. Comparaisons entre positions prosodiques. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position de la syllabe") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M
F1	F(3,76)=9,0; p=0,0001 Mi, GAi, Pi >* GLi	F(3,76)=5,9; p=0,001 Mi >* GAi, GLi & GLi <* Pi
F2	F(3,76)=5,0; p=0,002 Mi, GLi, Pi >* GAi	F(3,76)=4,5; p=0,006 Mi, GAi >* Pi & GAi >* GLi
Durée acoustique	F(3,76)=12,4; p=0,0001 Mi >* GLi, Pi >* GAi	F(3,72)=8,9; p=0,0001 Mi, Pi >* GAi, GLi

Figure 3.41 : Durée acoustique de la voyelle /a/ de la syllabe /na/ en fonction de la position prosodique de la syllabe. (pour les abréviations des positions, cf. figure 3.1)



En résumé, s'il y a une influence de la position prosodique sur les caractéristiques spectrales de la voyelle de la syllabe initiale CV, cette influence n'est pas claire et ne suit pas la hiérarchie prosodique. Si ces résultats ne confirment pas un effet de la position prosodique sur la voyelle de la syllabe CV initiale, ils me permettent au moins d'affirmer que le renforcement observé pour les consonnes initiales d'une syllabe CV ne sont pas la conséquence d'une variation dans l'articulation vocalique suivante. L'augmentation du contact pour /n/ en position forte n'est pas due à une variation articuloire sur la voyelle /a/ suivante.

II.C. Conclusion II : effet de la position prosodique sur le segment initial ou l'unité initiale

L'influence de la position prosodique affecte principalement le segment initial absolu du constituant prosodique en question. L'effet de la position prosodique ne semble pas s'étendre au segment suivant, qu'il soit la seconde consonne d'un groupe de consonnes ou la voyelle d'une syllabe CV. Nous avons relevé quelques variations mineures du second élément en fonction de la position prosodique (F1 et F2 de /a/, contact de /l/ en GAi pour 2M). Ces variations ne relèvent pas d'une tendance progressive qui suivrait une hiérarchie prosodique. Elles ne sont pas non plus comparables aux modifications observées sur le segment initial. J'en conclus donc que l'influence de la position prosodique est essentiellement un effet local sur le premier élément du groupe (CC ou CV). C'est principalement un effet de frontière, un "edge effect", limité à l'attaque du constituant.

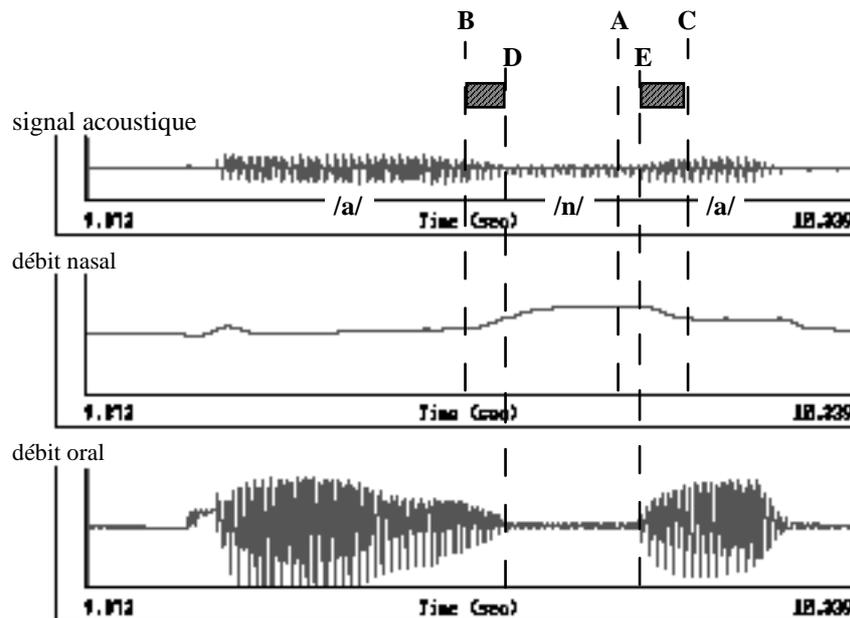
CHAPITRE IV : VARIATIONS DE L'ARTICULATION NASALE EN FONCTION DE LA POSITION PROSODIQUE : DONNÉES AÉRODYNAMIQUES

I. VARIATIONS DE DÉBIT D'AIR NASAL POUR LA CONSONNE /n/

I.A. Variations spatiales : maximum de débit d'air nasal en fonction de la position prosodique

Les variations de l'articulation nasale sont examinées indirectement par une mesure du débit d'air nasal pendant la consonne /n/. Le débit d'air est relevé au point où il atteint son maximum pendant la consonne. Pour toutes les positions prosodiques, ce maximum est situé vers la fin de la consonne, avant la voyelle suivante et avant la fin acoustique de /n/. La figure 4.1a (d'après la fig. 2.5a) présente un exemple de tracé des courbes de débit nasal et de débit oral, du signal acoustique et du spectrogramme pour la séquence /ana/ en position GAI produite par le locuteur 1F. Les limites acoustiques de /n/ sont indiquées par les barres verticales (points D et E) ; le maximum de débit nasal est indiqué au point A.

Figure 4.1a Rappel des points de mesure pour l'expérience de débit nasal, d'après la figure 2.5a (du Chap. Méthode) : (A) maximum de débit nasal, (B) début de la nasalisation; (C) fin de la nasalisation; (D) et (E) début et fin acoustique de /n/. Les carrés grisés illustrent les mesures d'anticipation et de persévation du débit nasal pour /n/ (voir texte).



La figure 4.1b présente les maxima de débit nasal en fonction de la position prosodique pour les 4 locuteurs et pour les /n/ en contexte /a_a/ et /i_i/. Les résultats des comparaisons statistiques entre les positions pour chaque locuteur sont données dans le tableau IV-1. Les données présentées ici sont celles du corpus n°1 pour lequel la position sérielle du segment test n'est pas contrôlée.

- Le maximum de débit nasal varie en fonction de la position prosodique pour tous les locuteurs et les contextes vocaliques, sauf pour le locuteur 4F dans le contexte /i_i/. Les positions prosodiques qui se distinguent par le débit nasal varient en fonction du locuteur. Pourtant, une tendance générale apparaît : mis à part le locuteur 4F, tous les locuteurs ont un maximum de débit nasal *plus faible* en début de GI par

rapport aux positions inférieures. Pour le locuteur 4F, la position Gli se distingue aussi des autres positions dans le contexte /a_a/, mais pour ce locuteur la distinction se fait par un débit nasal *plus fort*.

- En ce qui concerne les autres positions, les maxima de débit ont une légère tendance à diminuer de la position Si à la position GAi, mais sans que ces différences soient significatives (sauf pour 2M /i_i/), ou ne soient présentes pour tous les locuteurs et/ou contextes vocaliques.

Tableau IV.1 : Comparaisons entre positions prosodiques pour (1) les maxima de débit nasal de /n/ (point A fig. 2.5a) ; (2) la durée de la nasalisation (C-B) ; (3) l'anticipation du débit nasal (B-D) ; (4) la persévération du débit nasal (C-E). Données pour le corpus n°1. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	maxima débit nasal	durée nasalisation	anticipation du débit	persévération du débit
1F /a_a/ /	F(3,70)=5,2; p=0,003 Si, Mi, GAi >* Gli	F(3,70)=0,6; p=0,6 ns	F(3,70)=1,0; p=0,4 ns	F(3,70)=0,9; p=0,5 ns
	F(3,68)=3,7; p=0,02 Si, Mi, GAi >* Gli	F(3,68)=40,0; p=0,001 Si, GAi >* Mi, Gli	F(3,68)=25,2; p=0,0001 Si, GAi >* Mi, Gli	F(3,68)=4,3; p=0,008 Si >* Mi, GAi, Gli
2M /a_a/ /	F(3,54)=5,8; p=0,002 Si, Mi, GAi >* Gli	F(3,54)=7,2; p=0,0004 Si, Mi <* GAi, Gli	F(3,54)=7,7; p=0,0002 Si, Mi, GAi <* Gli	F(3,54)=1,76; p=0,2 ns
	F(3,62)=11,1; p=0,0001 Si >* Mi, GAi >* Gli	F(3,62)=4,6; p=0,006 Si, Mi, GAi >* Gli	F(3,62)=1,1; p=0,4 ns	F(3,62)=5,3; p=0,003 Si, Mi >*GAi; Si>*Gli
3F /a_a/ /	F(3,68)=8,3; p=0,0001 Mi,GAi >*Gli; Si<*Mi	F(3,68)=0,7; p=0,5 ns	F(3,68)=2,9; p=0,04 Si, Mi >* GAi	F(3,68)=7,9; p=0,0001 Mi >* Si, GAi, Gli
	F(3,68)=32,2; p=0,0001 Si, Mi, GAi >* Gli	F(3,64)=4,4; p=0,007 Si, GAi >* Mi, Gli	F(3,65)=3,2; p=0,03 Si, Mi, Gli <* GAi	F(3,68)=2,9; p=0,04 Si >* Mi, GAi, Gli
4F /a_a/ /	F(3,59)=6,6; p=0,0007 Si, Mi, GAi <* Gli	F(3,59)=7,1; p=0,0004 Si, Mi <* GAi, Gli	F(3,59)=6,0; p=0,001 Si, Mi, GAi <* Gli	F(3,59)=0,8; p=0,5 ns
	F(3,58)=2,2; p=0,09 ns (GAi <* Gli)	F(3,58)=37,8; p=0,0001 Si >*GAi >*Mi >*Gli	F(3,58)=18,5; p=0,0001 Si >* GAi >* Mi, Gli	F(3,58)=15,2; p=0,0001 Si>*Mi>*Gli;Si>*GAi

Effet du contexte vocalique /a_a/ ou /i_i/ :

Il n'y a pas de grande différence dans la valeur du débit maximal pour /n/ ni dans l'effet de la position prosodique, entre les deux contextes vocaliques /a_a/ et /i_i/. Il existe quelques différences éparpillées entre les locuteurs, mais je ne peux pas conclure qu'un contexte vocalique est plus favorable que l'autre à la variation de débit en fonction de la position prosodique. La variation du débit nasal en fonction de la position prosodique semble donc indépendante de l'impédance orale des voyelles en contexte.

En résumé, seule la position Gli se distingue clairement des autres positions par un débit plus faible pour 3 des 4 locuteurs et un débit plus fort pour un locuteur. Pour les 3 locuteurs, la diminution de débit suggère que le passage vélopharyngé est plus étroit dans la position la plus haute, Gli. Dans la position Gli, /n/ est précédé d'une pause. À la vue des résultats, il n'est donc pas facile de trancher entre un effet de la présence d'une pause ou un effet plus global de la position prosodique. Les faibles différences de débit entre les positions inférieures

laissent penser qu'il y a une tendance à une diminution de débit au fur et à mesure que la position s'élève dans la hiérarchie prosodique, mais ces différences sont souvent non significatives. Comparé aux données électropalatographiques, l'effet de la position prosodique sur les variations spatiales de débit d'air nasal est beaucoup moins net et beaucoup plus variable, ne mettant en évidence que la position Gli.

Figure 4.1b : Maximum de débit nasal pour /n/ en fonction de la position prosodique. Données du corpus n°1 (sans contrôle de la position sérielle de /n/), présentées par locuteur et par contexte vocalique /a_a/, /i_i/. Les abréviations utilisées pour décrire les positions prosodiques, dans cette figure et dans les suivantes, sont : Si pour position initiale de Syllabe, Mi pour position initiale de Mot, GAi pour position initiale de Groupe Accentuel, GLi pour position initiale de Groupe Intonatif.

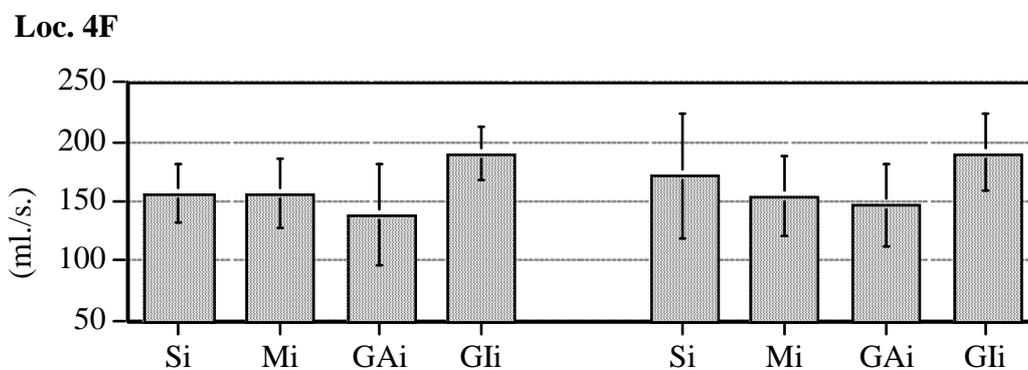
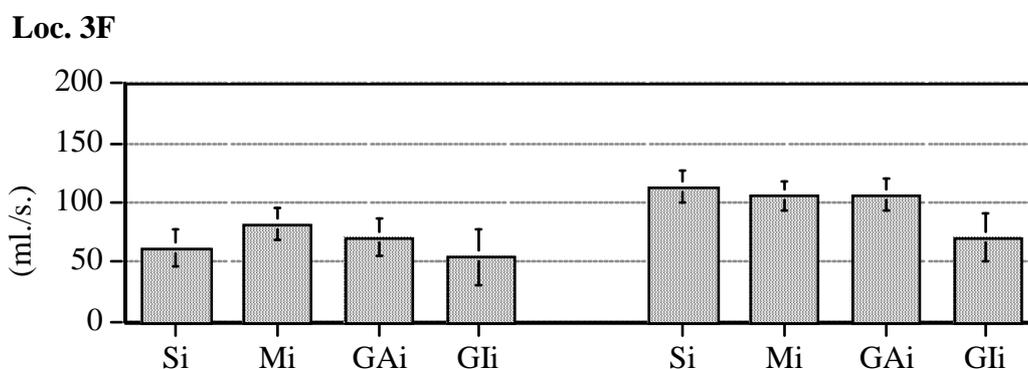
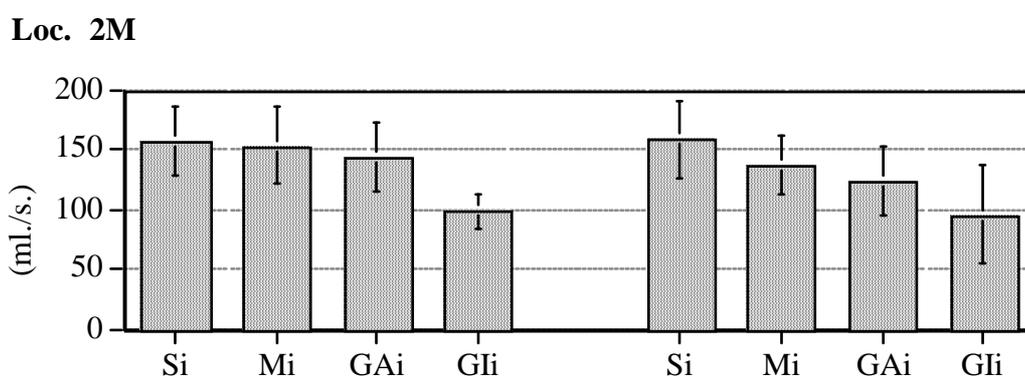
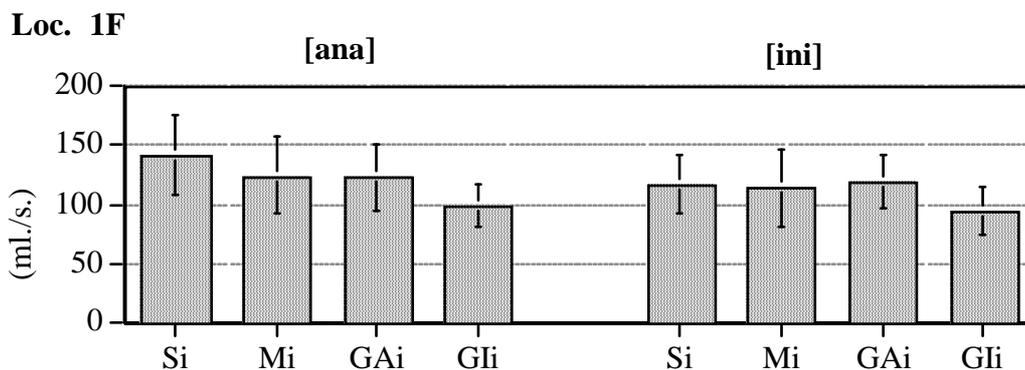
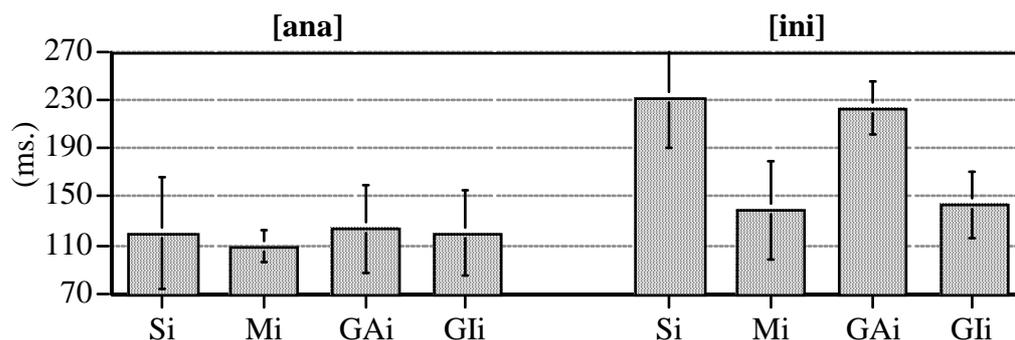
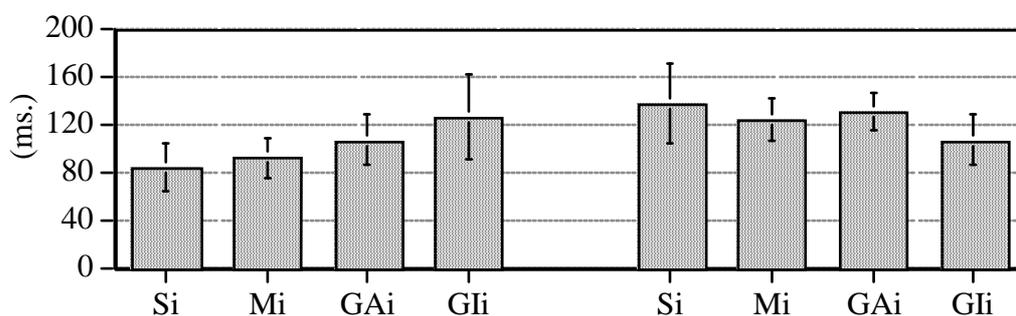


Figure 4.2 : Durée de la nasalisation pour /n/ en fonction de la position prosodique. Mesurée entre les points B et C, figure 4.1a. Données du corpus n°1. (pour les abréviations des positions, cf. figure 4.1b)

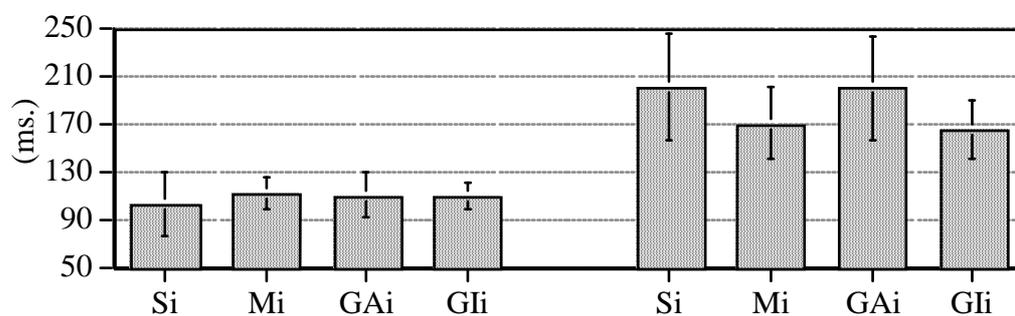
Loc. 1F



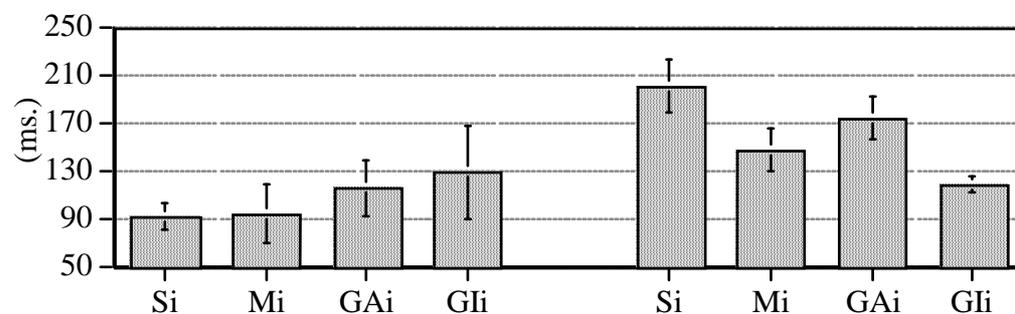
Loc. 2M



Loc. 3F



Loc. 4F



I.B. Variations temporelles du geste nasal : durée de la nasalisation et alignement par rapport aux frontières acoustiques de /n/

B.1. Durée de la nasalisation

La "durée de la nasalisation" est mesurée entre le début et la fin de l'augmentation du débit d'air nasal associée à la consonne. Ces étiquettes sont marquées par les points B et C sur la figure 4.1a. Comme je l'ai dit précédemment, ces points ne correspondent pas au début d'ouverture et de fermeture de l'orifice vélopharyngé, ce sont seulement des points d'inflexion sur la courbe de débit nasal. Il m'est impossible de voir à quel événement articulatoire ces points correspondent, mais il est indiscutable que ces points correspondent à une progression du débit associée à l'articulation de la consonne /n/. Je considère ici qu'ils correspondent à la durée du geste d'ouverture vélopharyngé tel qu'il apparaît dans les données aérodynamiques (i.e. la durée de la nasalisation). Le début de la nasalisation commence très souvent dans la deuxième moitié de la voyelle ou de la pause précédente. La fin de la nasalisation se prolonge toujours assez loin dans la voyelle suivante. Cette forte persévération de la nasalité, étonnante en français, apparaît aussi clairement sur les données aérodynamique de Cohn (1990, 1993).

La figure 4.2 présente les durées moyennes de la nasalisation de /n/ aux différentes positions prosodiques pour les 4 locuteurs. Les résultats statistiques sont donnés dans le tableau IV-1.

- L'effet de la position prosodique sur la durée du débit nasal est variable en fonction du locuteur et du contexte vocalique.
- Dans le contexte /a_a/, deux locuteurs (2M et 4F) présentent un allongement de la durée de la nasalisation au début des constituants supérieurs GA et GI. Pour les deux autres locuteurs, la durée de la nasalisation ne varie pas en fonction de la position prosodique.
- En contexte /i_i/, l'effet de la position prosodique est plus uniforme : les quatre locuteurs ont une durée de la nasalisation plus courte en début de GIi, et plus longue en début de Syllabe. Pour 3 locuteurs (1F, 3F, 4F), les /n/ en début de Syllabe et en début de GA ont une nasalisation plus longue qu'en début de Mot ou de GI.

Si l'on considère la position GIi, la diminution de débit nasal par rapport aux autres positions prosodiques est associée, en fonction du contexte vocalique, à une durée de la nasalisation plus courte (/i_i/) ou plus longue (/a_a/). D'autre part, les variations de durée de la nasalisation en fonction de la position prosodiques sont plus uniformes en contexte /i_i/. Le locuteur 4F, qui avait un comportement particulier pour les variations spatiales de débit nasal (débit plus fort en GIi), a un comportement similaire à celui des autres locuteurs pour les variations temporelles du débit en fonction de la position prosodique. Pour comprendre les effets du contexte vocalique, il faut voir comment le début et la fin de la nasalisation sont alignés avec les frontières acoustiques de /n/ (geste oral et glottal).

B.2. Anticipation du débit nasal

L'anticipation du débit nasal est mesurée entre le début du débit nasal (point B sur la fig. 4.1a) et le point D correspondant au début acoustique de /n/ (début des vibrations laryngées) et à l'arrêt du débit oral (début de l'occlusion orale de /n/). Cet intervalle a une durée négative quand le débit nasal apparaît avant l'occlusion orale de /n/. Les valeurs sont positives quand le débit nasal commence après. Les durées moyennes de l'anticipation du débit nasal sont présentées sur la figure 4.3. Avant d'examiner le détail des résultats, il faut noter la grande variation dans cette mesure entre les répétitions pour les 4 locuteurs dans toutes les positions prosodiques. Cette variabilité apparaît sur les écarts types présentés sur chacune des barres de la figure.

Figure 4.3 : Anticipation du débit nasal par rapport au début acoustique de /n/ en fonction de la position prosodique. Mesurée entre les points B et D, figure 4.1a. Données du corpus n°1. Les valeurs négatives indiquent que le début de la nasalisation commence avant le début acoustique de /n/ (i.e. qu'il y a anticipation). A noter, la grande variation entre les répétitions qui apparaît sur les écarts types présentés sur chaque barre. (pour les abréviations des positions, cf. figure 4.1b)

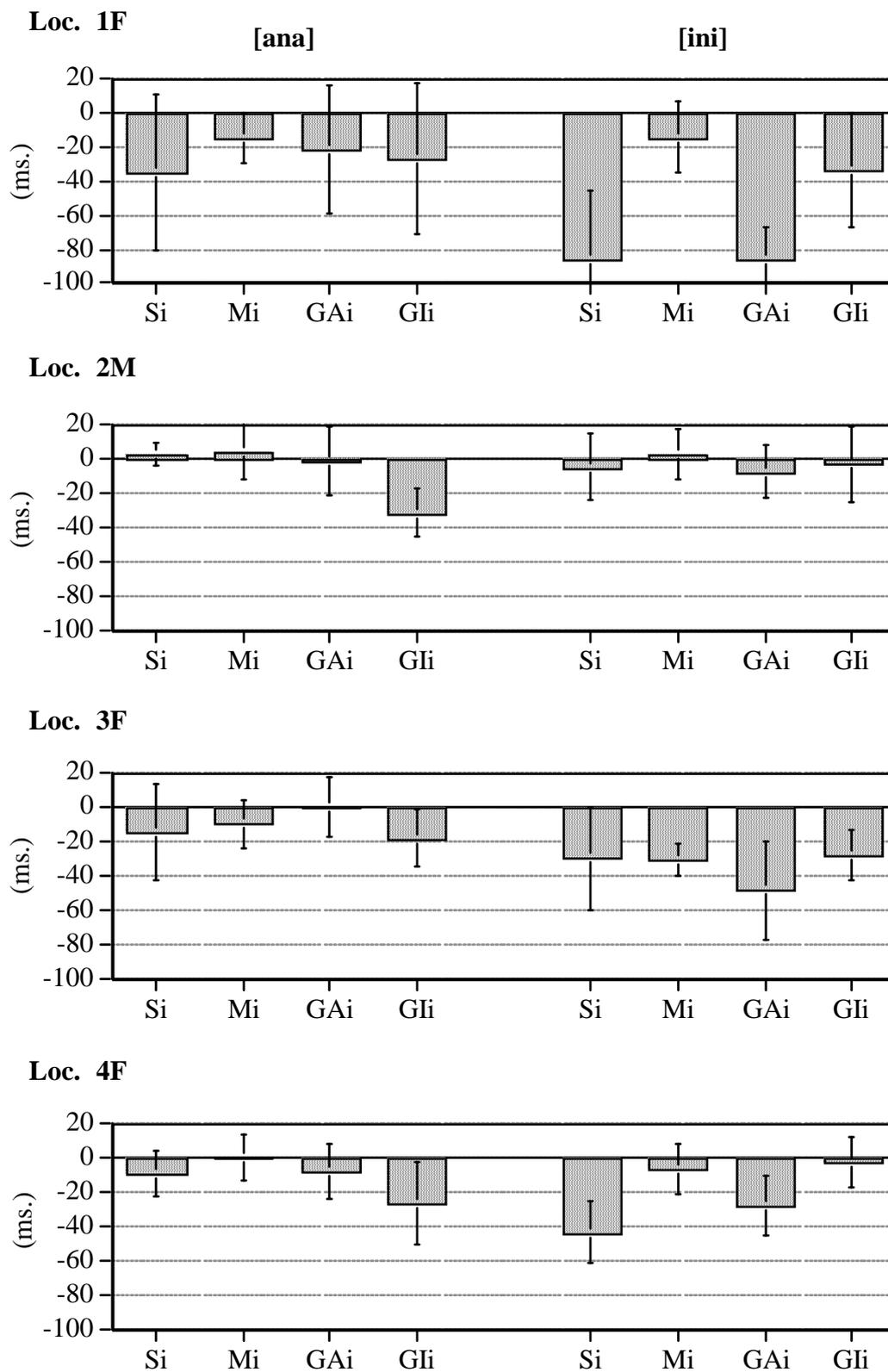
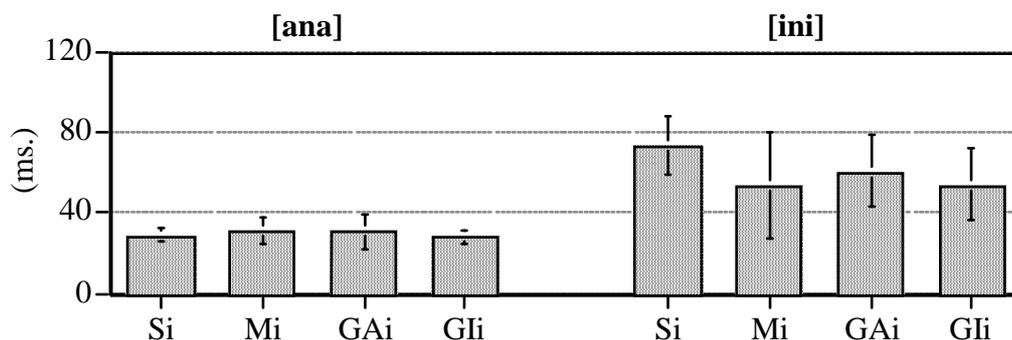
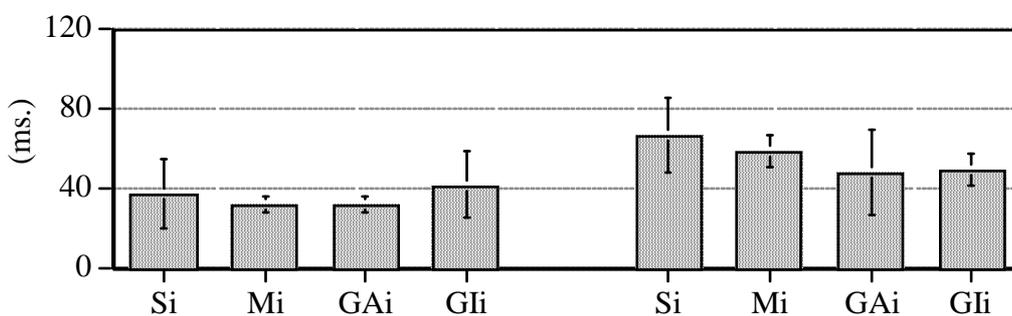


Figure 4.4 : Persévérance du débit nasal par rapport à la fin acoustique de /n/ en fonction de la position prosodique. Mesurée entre les points C et E, figure 4.1a. Données du corpus n°1. (pour les abréviations des positions, cf. figure 4.1b)

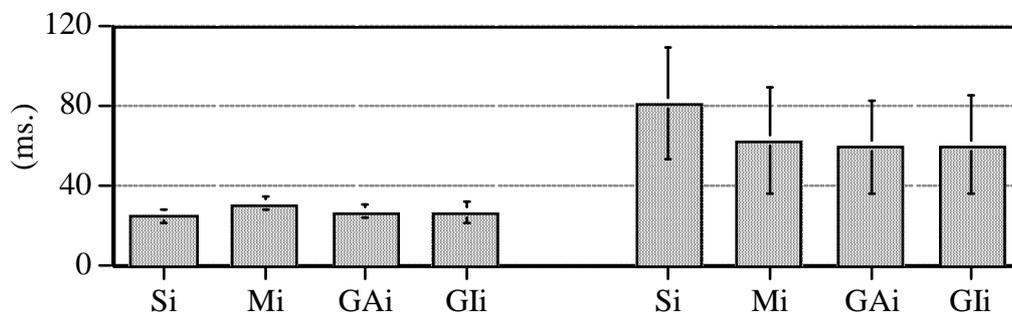
Loc. 1F



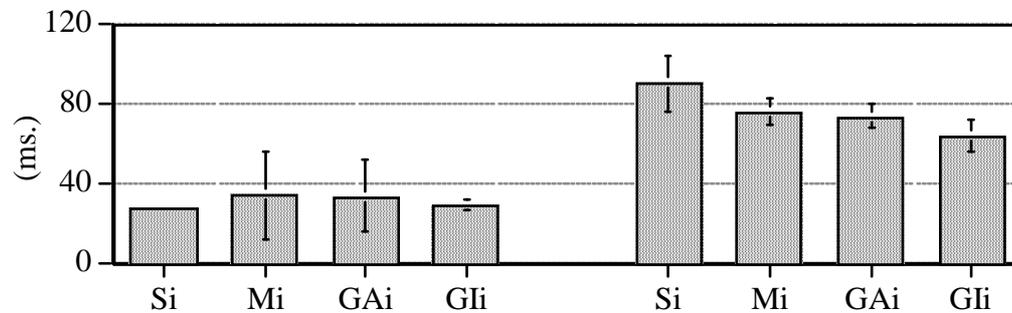
Loc. 2M



Loc. 3F



Loc. 4F



Comme pour la durée du geste nasal, l'anticipation du débit nasal varie en fonction des locuteurs et des contextes vocaliques :

- Dans le contexte /a/, pour le locuteur 1F, la position prosodique de /n/ n'a pas d'effet sur la durée de l'anticipation nasale. Pour le locuteur 3F, la position GAi se distingue par une anticipation plus courte que pour les positions Mi et Si. Pour les locuteurs 2M et 4F, la position GIi se distingue par une anticipation plus grande par rapport aux positions inférieures. Comme on l'a vu précédemment, la durée de la nasalisation est plus longue en position GAi et en position GIi pour ces deux locuteurs. Pour la position GIi, l'allongement de la nasalisation est donc la conséquence d'une anticipation plus précoce du débit pendant la pause. Par contre, pour la position GAi, l'allongement de la nasalisation ne se traduit pas par une anticipation plus précoce.
- Dans le contexte /i/, pour le locuteur 2M, l'anticipation du débit ne varie pas en fonction de la position prosodique. Pour le locuteur 3F, les /n/ en début de GAi ont un débit plus long et qui commence plus tôt que dans les autres positions. Pour les locuteurs 1F et 4F, on retrouve un patron similaire à celui observé pour la durée de la nasalisation : les positions GIi et Mi se distinguent par une anticipation plus courte du débit nasal qui se traduit par une durée de la nasalisation plus courte.

B.3. Persévération du débit nasal

La persévération du débit nasal est mesurée entre la fin de l'augmentation du débit nasal pour /n/ (point C sur la fig. 4.1a) et la fin de /n/ (point E : apparition du débit oral correspondant au relâchement de l'occlusion orale et apparition des formants de la voyelle suivante). Les durées moyennes de la persévération du débit nasal aux différentes positions prosodiques sont présentées sur la figure 4.4 et les résultats statistiques dans le tableau IV-1. Toutes les valeurs sont positives, ce qui signifie que le débit nasal se prolonge toujours pendant la voyelle suivante.

- Dans le contexte /ana/, la persévération du débit nasal pendant la voyelle est relativement courte et ne semble pas, ou peu, affectée par la position prosodique du segment (seul le locuteur 3F montre une variation). Par contre, dans le contexte /ini/, le débit nasal reste fort pendant une bonne partie de la durée de la voyelle suivante.
- Dans ce contexte /ini/, les 4 locuteurs ont une persévération du débit plus longue en début de Syllabe. Dans cette position, la voyelle suivante est donc fortement nasalisée. Les données sur la durée de la nasalisation avaient montré que pour tous les locuteurs, le débit nasal de /n/ en position Si est long. Ici on voit que cet allongement est la conséquence d'un débit nasal qui se termine plus tard dans la voyelle suivante.

La différence de persévération du débit nasal entre les deux types de contextes vocaliques peut être expliquée par l'impédance orale de la voyelle. Pour la voyelle /i/, la position élevée de la masse de la langue réduit la taille de la cavité orale. Pour un débit d'air sousglottal constant et une ouverture vélopharyngée constante, la quantité d'air dirigée dans le conduit nasal est donc plus importante que pour une voyelle ouverte. Ainsi, indépendamment de la position prosodique, si l'ouverture vélopharyngée reste légèrement ouverte après la consonne, il y a, pour /i/, un maintien du débit nasal pendant la voyelle (car la variation d'impédance orale entre /n/ et /i/ est faible). Pour /a/, au contraire, dès que la cavité orale s'ouvre la majeure partie de l'air est dirigée dans la cavité buccale et le débit nasal diminue.

En résumé, l'effet de la position prosodique sur les caractéristiques temporelles du débit nasal varie en fonction des locuteurs et des contextes vocaliques. Dans certains cas, les variations de position prosodique n'ont pas d'effet ou des effets isolés à certaines positions. Dans d'autres cas, les caractéristiques temporelles varient en suivant une tendance partagée par plusieurs locuteurs. Ces tendances sont :

- Pour les 4 locuteurs, la nasalisation est plus longue et la persévération sur la voyelle suivante est importante en position Si pour la séquence /ini/.
- Pour 2 locuteurs, il y a un allongement de la durée de la nasalisation et de l'anticipation pendant la pause pour la séquence /ana/ en position GIi.

- Pour ces 2 locuteurs, il y a aussi un allongement de la nasalisation en position GAi pour /ana/, mais cette fois ci sans allongement de l'anticipation ou de la persévération sur les segments adjacents. Dans cette position c'est la durée de /n/ qui est allongée sans changement dans le chevauchement avec les voyelles en contexte.

- Pour 2 locuteurs, il y a un raccourcissement de la nasalisation et de l'anticipation en position Mi et GIi pour la séquence /ini/.

I.C. Corpus n°2 : Contrôle de la position sérielle de la syllabe test dans la phrase

Dans le corpus utilisé dans l'expérience précédente (corpus n°1), la position du segment test dans la phrase n'a pas été contrôlée. La position sérielle du segment /n/ varie parallèlement avec sa position prosodique : plus le segment est à une position forte, plus il apparaît tôt dans la phrase. Il est donc possible que les variations de débit nasal observées soient la conséquence des différences de positions *sérielles* et non pas des différences de positions *prosodiques*.

Nous avons vu que certains auteurs ont suggéré l'existence d'une déclinaison articulaire du début à la fin de la phrase (cf. introduction II.B.5). Deux types de déclinaison peuvent se produire :

- une déclinaison de la position du velum qui se traduirait par un abaissement progressif du velum et donc par augmentation progressive du débit nasal du début à la fin de la phrase (pour un débit total constant).
- une déclinaison progressive du volume d'air dans les poumons qui se traduirait par une diminution progressive du débit nasal du début à la fin de la phrase.

Dans les données du corpus n°1, les /n/ placés le plus tôt dans la phrase sont les /n/ en position GIi et sont ceux qui ont le moins de débit nasal. Ce résultat va dans le sens des prédictions données par l'hypothèse de déclinaison de la position du velum : les segments /n/ qui apparaissent au début d'une phrase ont un débit inférieur aux /n/ qui apparaissent plus tard si le velum s'abaisse progressivement pendant la phrase.

Afin de vérifier que les résultats aérodynamiques obtenus ne dépendent pas uniquement de la position sérielle du segment, l'effet de la position prosodique a été testé sur un corpus différent (corpus n°2). Dans ce corpus, la position sérielle du segment test est toujours la même : la 5ème syllabe de la phrase. Ce corpus est celui utilisé dans les expériences EPG. Pour les données aérodynamiques, j'ai réenregistré deux des quatre locuteurs (loc. 1F et 2M) pour seulement 10 répétitions des phrases tests avec les séquences /ana/ et /ini/. Vu le faible nombre de répétitions, les résultats statistiques sont donnés à titre indicatif et leur signification est à considérer avec précaution.

Pour le locuteur 1F, un problème technique m'a empêché d'analyser les données recueillies pour la position Si dans le contexte /ana/. Pour ce contexte, seules les positions Mi, GAi, et GIi sont comparées.

C.1. Variations spatiales : maximum de débit nasal

La figure 4.5 présente les maxima de débit nasal pour les deux locuteurs dans les contextes /a_a/ et /i_i/. Les résultats des comparaisons statistiques sont notés dans le tableau IV-2.

- Pour le locuteur 1F, on observe une tendance similaire à celle relevée pour le corpus n°1 : il y a une diminution du débit nasal en position GIi. De plus, la diminution du débit est progressive entre les positions Mi, GAi et GIi.
- Pour le locuteur 2M, par contre, les résultats sont différents. En contexte /i_i/, le débit nasal de /n/ en position GIi est inférieur à celui de la position Si, mais ne diffère pas de celui des positions intermédiaires Mi et GAi qui varient fortement. En contexte /a_a/, il n'y a pas de diminution de débit nasal en position GIi. Au contraire les positions Si, Mi et GIi ont un débit semblable, et c'est la position GAi qui se distingue avec un débit beaucoup plus fort.

Je ne peux pas expliquer pourquoi ce locuteur, pour ce corpus et en particulier pour la séquence /ana/, présente des résultats différents des autres tendances observées (pour ce même locuteur ou pour les autres locuteurs). Une comparaison des valeurs globales de débit nasal entre les figures 4.5 et 4.1, montre que les données relevées dans la session d'enregistrement du corpus n°2 ont un débit nasal beaucoup plus fort que celles relevées dans les

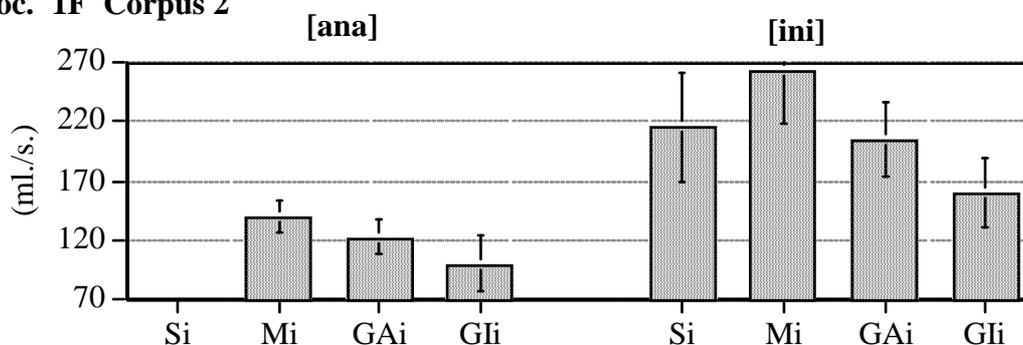
sessions d'enregistrement du corpus n°1. Mais cela n'explique pas pourquoi la tendance varie entre les deux corpus.

Tableau IV.2 : Comparaisons entre positions prosodiques pour (1) les maxima de débit nasal de /n/; (2) la durée du débit nasal ; (3) l'anticipation du débit nasal ; (4) la persévération du débit nasal. Données pour le corpus n°2 où /n/ a toujours la même position sérielle. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$. Ces résultats statistiques ne sont donnés qu'à titre indicatif car ces comparaisons ne comprennent que 10 répétitions à chaque position. Pour le loc. 1F en contexte /ana/, seules les positions Mi, GAi, et GLi sont comparées.

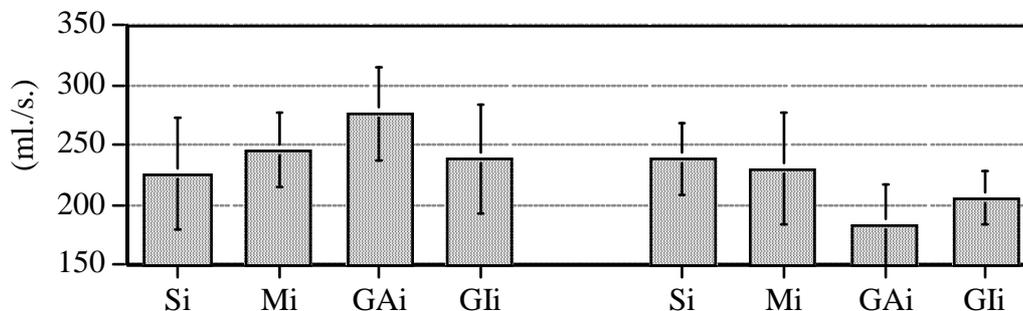
	(1) maxima débit nasal	(2) durée débit nasal	(3) anticipation	(4) persévération
1F /a_a/	F(2,29)=13,9; p=0,0001 Mi >* GAi >* GLi	F(2,29)=2,6; p=0,09 ns (Mi <* GAi)	F(2,29)=2,7; p=0,08 ns (Mi <* GLi)	F(2,29)=1,3; p=0,3 ns
/i_i/	F(3,44)=14,4; p=0,0001 Mi >* Si, GAi >* GLi	F(3,44)=15,6; p=0,001 Mi <* Si, GLi <* GAi	F(3,44)=21,1; p=0,0001 GAi >*GLi >*Si >*Mi	F(3,44)=4,1; p=0,01 Si >* Mi, GAi, GLi
2M /a_a/	F(3,44)=3,4; p=0,03 GAi >* Si, GLi	F(3,44)=13,4; p=0,0001 Si, Mi <* GAi, GLi	F(3,44)=5,8; p=0,002 Si, Mi, GAi <* GLi	F(3,44)=1,3; p=0,3 ns
/i_i/	F(3,44)=6,2; p=0,001 Si, Mi >*GAi; Si >*GLi	F(3,44)=20,9; p=0,0001 Si >*Mi, GAi, GLi; Mi <*GLi	F(3,44)=31,8; p=0,0001 Si >* GLi >* Mi, GAi	F(3,44)=2,1; p=0,1 ns (Si >* GLi)

Figure 4.5 : Maximum de débit nasal pour /n/ en fonction de la position prosodique. Données du corpus n°2 (avec contrôle de la position sérielle de /n/), présentées pour les deux locuteurs et par contexte vocalique /a_a/, /i_i/. La position Si n'a pas été comparée pour le loc. 1F. (pour les abréviations des positions, cf. figure 4.1b)

Loc. 1F Corpus 2



Loc. 2M Corpus 2



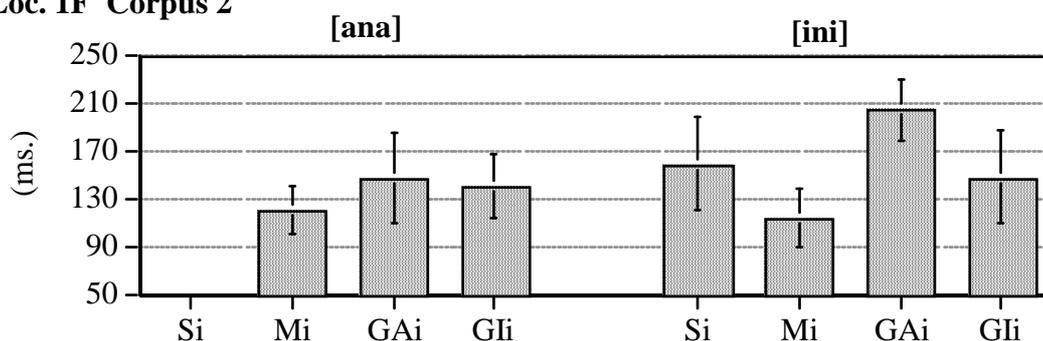
C.2. Variations temporelles : durée de la nasalisation et alignement par rapport aux frontières acoustiques de /n/

La durée de la nasalisation, de l'anticipation et de la persévération du débit nasal sont présentées dans les figures 4.6, 4.7 et 4.8. Les résultats statistiques sont donnés dans le tableau IV-2.

- Pour la durée de la nasalisation en contexte /a_a/, le locuteur 2M présente les mêmes variations dans le corpus n°2 que dans le corpus n°1 : les /n/ en début de GI ont une nasalisation plus longue et une anticipation plus précoce pendant la pause. Les /n/ en début de GAi ont aussi un débit nasal plus long. Le comportement singulier du locuteur 2M dans le corpus n°2 n'apparaît donc que pour les variations de débit d'air maximum et pas pour les caractéristiques temporelles.
- En contexte /i_i/, le locuteur 2M présente les mêmes variations pour la position Si qui a une nasalisation plus longue et une forte persévération sur la voyelle suivante, comme dans le corpus n°1.
- Pour le locuteur 1F, les tendances sont aussi les mêmes que dans le corpus n°1. La position prosodique a peu d'effet sur la durée et la coordination temporelle du geste nasal pour la séquence /ana/. Pour la séquence /ini/, les positions Mi et GIi se caractérisent par une nasalisation courte et la position GAi par une nasalisation longue. Par contre pour l'anticipation, la tendance est un peu différente : dans le corpus n°1 le patron est Si, GAi > Mi GIi, alors que dans le corpus n°2, les positions GIi et GAi ont une anticipation plus longue que celle des positions Si et Mi.

Figure 4.6 : Durée de la nasalisation pour /n/ en fonction de la position prosodique. Mesurée entre les points B et C, figure 4.1a. Données du corpus n°2. (pour les abréviations des positions, cf. figure 4.1b)

Loc. 1F Corpus 2



Loc. 2M Corpus 2

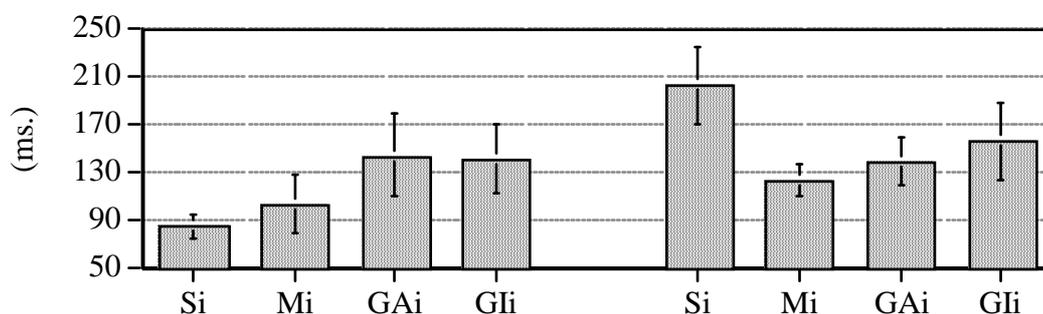
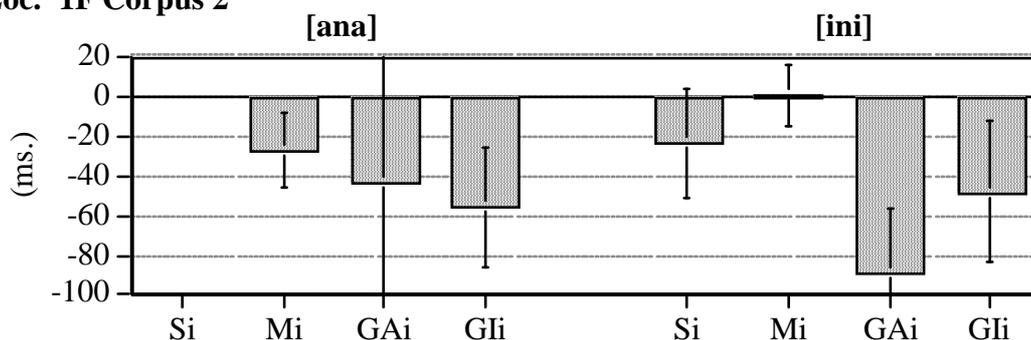


Figure 4.7 : Anticipation du débit nasal par rapport au début acoustique de /n/ en fonction de la position prosodique. Mesurée entre les points B et D, figure 4.1a. Données du corpus n°2. (pour les abréviations des positions, cf. figure 4.1b)

Loc. 1F Corpus 2



Loc. 2M Corpus 2

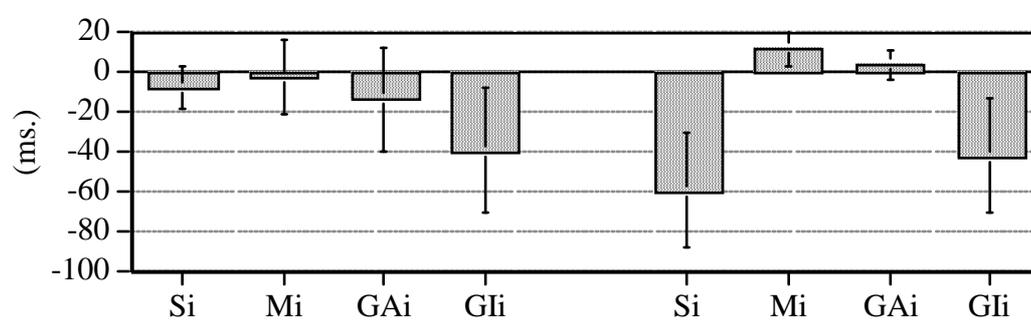
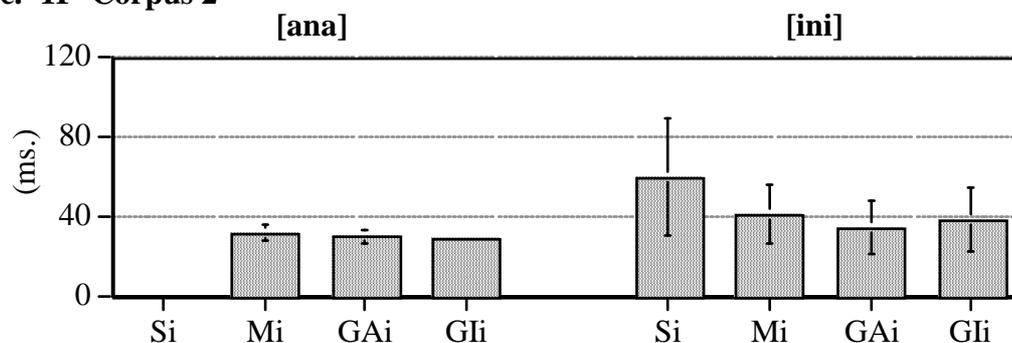
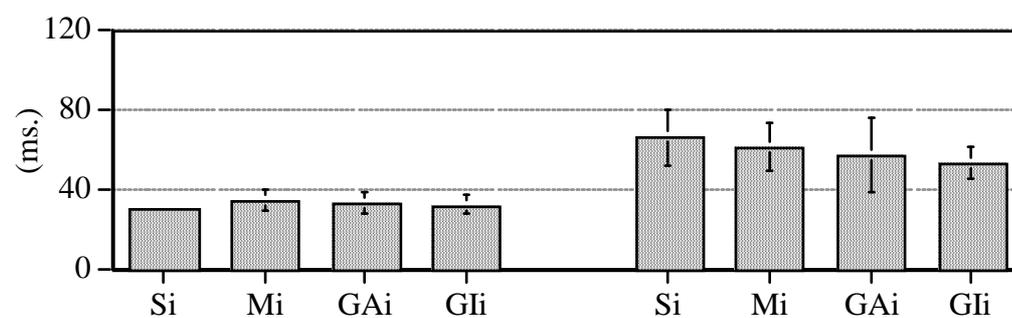


Figure 4.8 : Persévérance du débit nasal par rapport à la fin acoustique de /n/ en fonction de la position prosodique. Mesurée entre les points C et E, figure 4.1a. Données du corpus n°2.

Loc. 1F Corpus 2



Loc. 2M Corpus 2



A la vue de ces résultats, je ne peux conclure définitivement sur l'absence d'un effet de la position sérielle du segment test dans la phrase. Il existe des différences entre les résultats observés dans les corpus n°1 et n°2, notamment l'absence d'une diminution du débit nasal en position GIi par rapport à Mi pour le locuteur 2M. Pourtant, l'effet de la position prosodique observé dans le corpus n°1 ne peut être expliqué uniquement par une variation concomitante de la position sérielle. Pour le locuteur 1F, les résultats observés dans le corpus n°1 sont confirmés dans le corpus n°2. Pour le locuteur 2M, si les variations de débit ne confirment pas les résultats du corpus n°1, les variations des caractéristiques temporelles du geste nasal sont en accord avec celles observées pour le corpus n°1. D'autre part, les résultats EPG du chapitre III, montrent qu'il y a un effet de la position prosodique sur l'articulation linguale, indépendant de la position sérielle des segments (puisque les segments sont toujours placés dans la même position dans la phrase).

II. VARIATIONS DE DÉBIT D'AIR NASAL POUR LA VOYELLE /A\$/

Les variations dans l'articulation nasale de la voyelle nasale ouverte /A\$/ sont examinées sur la courbe de débit nasal au point où le débit nasal est maximum dans la voyelle (point A sur la figure 2.5b). La figure 4.9 et le tableau IV-3 présentent les résultats obtenus pour le maximum de débit nasal de la voyelle /A\$/ en fonction de la position prosodique.

- La position prosodique de la voyelle a un effet sur son débit nasal pour deux des quatre locuteurs (2M et 3F). Pour le locuteur 2M, les /A\$/ ont un débit nasal moins important en position Mi que dans les positions supérieures GAi et GIi. Pour le locuteur 3F, les trois positions examinées, Mi, GAi et GIi, se distinguent par une diminution progressive du débit nasal de la position la plus basse à la position la plus haute.
- Pour les deux autres locuteurs (1F et 4F), la position prosodique de /A\$/ n'a pas d'effet sur le débit nasal.

En résumé, pour deux locuteurs sur quatre, on observe un effet de la position prosodique sur le débit nasal pendant la voyelle /A\$. Cet effet suit la même tendance que celle observée pour la consonne /n/ : le débit nasal diminue en position forte. D'autre part, la variation de débit nasal pour la voyelle /A\$/ n'est pas restreinte à la position précédée d'une pause (GIi), et semble donc être un effet de la position prosodique plutôt que de la présence-absence de pause. Comme pour les variations observées dans l'articulation linguale de la voyelle /i/, l'articulation nasale de la voyelle /A\$/ distingue plus particulièrement la position Mi des positions supérieures.

Figure 4.9 : Maximum de débit nasal pour /A\$/ en fonction de la position prosodique. (pour les abréviations des positions, cf. figure 4.1b)

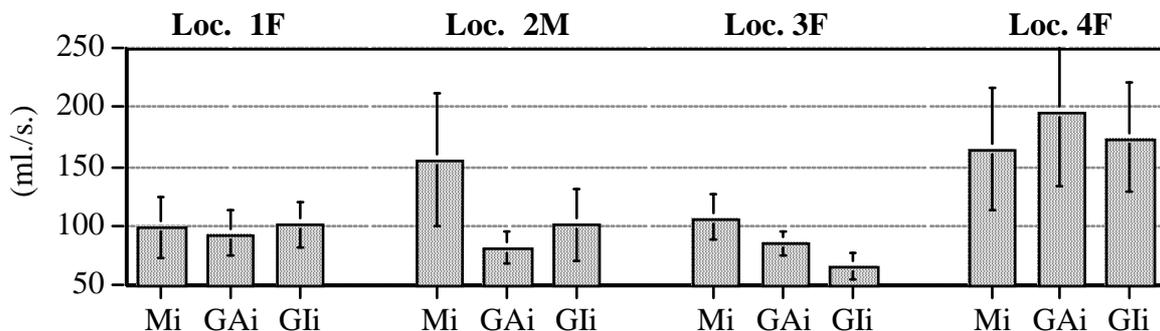


Tableau IV.3: Comparaisons entre positions prosodiques pour le débit nasal maximum de /A\$. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	Locuteur 1F	Locuteur 2M	Locuteur 3F	Locuteur 4F
/A\$/	F(2,27)=0,3; p=0,8	F(2,24)=9,4; p=0,001	F(2,25)=21,0; p=0,0001	F(2,27)=0,9; p=0,4 ns
	ns	Mi >* GAi, GIi	Mi >* GAi >* GIi	

CHAPITRE V : VARIATIONS DE QUELQUES PARAMÈTRES ACOUSTIQUES EN FONCTION DE LA POSITION PROSODIQUE

Nous avons vu que la position prosodique d'un segment pouvait avoir un effet sur les caractéristiques spatiales et temporelles de son articulation linguale et nasale.

Dans le chapitre qui va suivre, il s'agira de déterminer si l'effet de la position prosodique se traduit aussi par des variations sur le plan acoustique. Il ne s'agit pas de trouver les corrélats acoustiques particuliers des variations articulatoires nasale et linguale observées dans les expériences précédentes, mais d'analyser un nombre restreint de paramètres acoustiques. J'ai choisi de me limiter aux quelques paramètres pour lesquels des modifications ont été observées (ou suggérées) dans la littérature sur les effets de la position prosodique (voir introduction) : la durée, l'énergie des consonnes sonnantes et la glottalisation des voyelles. Au terme de cette étude, nous verrons qu'une recherche d'indices acoustiques reste à compléter dans l'avenir.

I. VARIATIONS DE DUREE ACOUSTIQUE

En premier lieu, j'observe la durée acoustique des segments en fonction de leur position prosodique. J'appelle "durée acoustique" la durée des segments telle qu'elle peut être mesurée sur le signal acoustique. Cette durée ne correspond pas forcément à celle présentée dans les chapitres précédents pour la durée du geste lingual ou du geste nasal. Ces deux dernières mesures correspondent à des événements articulatoires particuliers, mesurés à partir des données articulatoires et qui n'ont pas forcément de conséquences acoustiques. Par contre la durée acoustique d'une consonne sonore, par exemple, va dépendre de la coordination temporelle entre plusieurs gestes articulatoires : les gestes glottaux et supraglottaux (oral et nasal). Les données seront présentées par type de segments.

I.A. Les sonores : /n/ et /l/

Les durées acoustiques de /n/ et /l/ sont mesurées sur le signal acoustique à partir du début des vibrations laryngées correspondant, sur un spectrogramme, à l'apparition de la barre de voisement dans les basses fréquences. Lorsque la consonne n'est pas précédée d'une pause, ce point correspond aussi à la disparition des formants supérieurs (F2, F3) de la voyelle précédente. La fin de la consonne est déterminée par l'apparition des formants supérieurs pour la voyelle /a/ suivante.

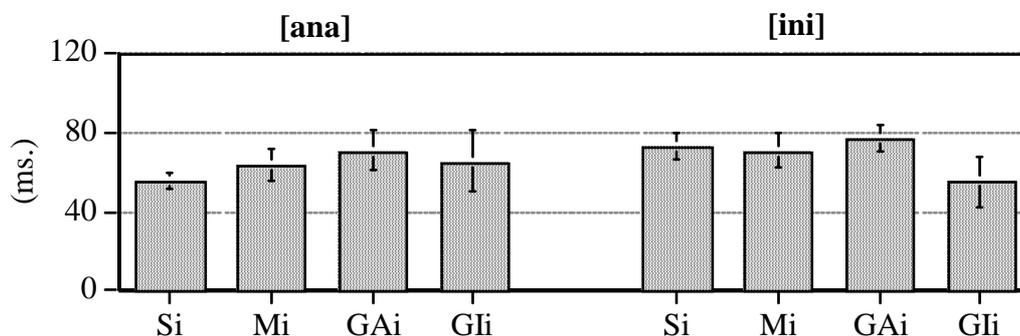
A.1 La nasale /n/

Les durées de /n/ ont été mesurées sur les signaux acoustiques collectés (1) en même temps que les données EPG pour les locuteurs 1F et 2M et (2) en même temps que les données aérodynamiques pour les locuteurs 1F, 2M, 3F et 4F. Dans le deuxième cas, le signal acoustique est filtré par le masque de Rothenberg mais sa qualité est suffisante pour effectuer les mesures.

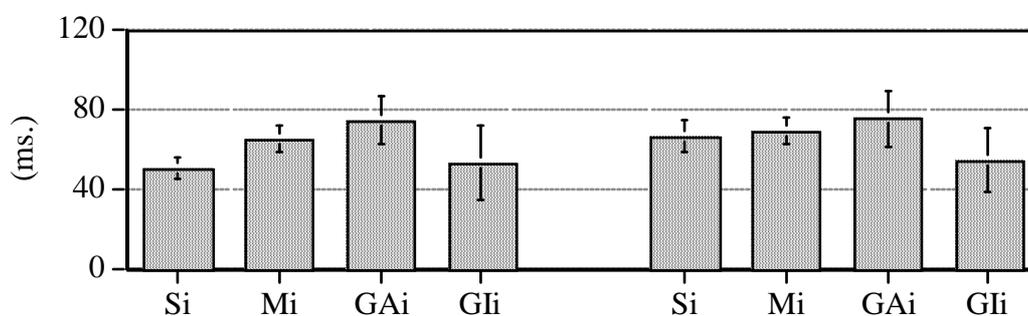
Les durées des /n/ en fonction de leur position prosodique sont présentées sur les graphes 5-1 et 5-2 (valeurs en annexe 3) pour les contextes /ana/ et /ini/. Pour le contexte /a_a/, les données sont issues des expériences EPG et aérodynamiques. Pour le contexte /i_i/, les données sont issues de l'expérience aérodynamique. Les comparaisons statistiques en fonction de la position prosodique sont présentées dans le tableau V-1.

Figure 5.1 : Durée acoustique de /n/ en fonction de la position prosodique. Données de l'expérience de débit d'air pour les 4 locuteurs (corpus n°1), en contexte /a_a/ et /i_i/. Les abréviations utilisées pour décrire les positions prosodiques, dans cette figure et dans les suivantes, sont : Si pour position initiale de Syllabe, Mi pour position initiale de Mot, GAi pour position initiale de Groupe Accentuel, Gli pour position initiale de Groupe Intonatif, Pi pour position initiale de Phrase.

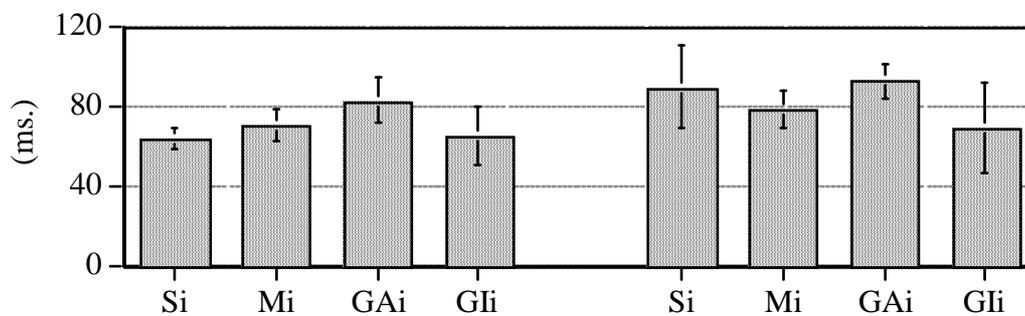
Loc. 1F



Loc. 2M



Loc. 3F



Loc. 4F

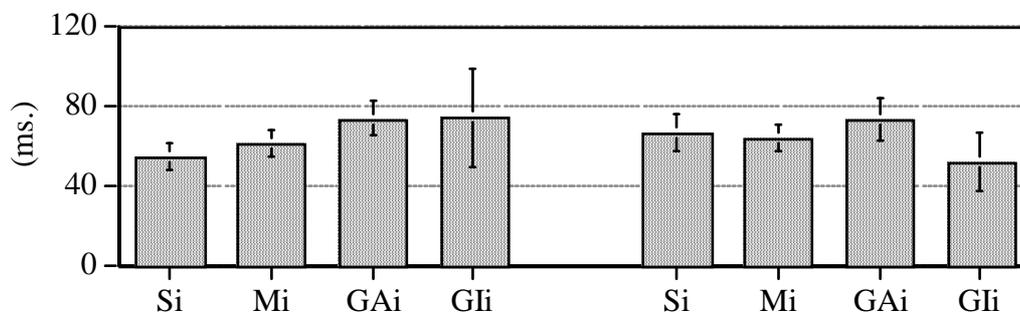


Figure 5.2 : Durée acoustique de /n/ en fonction de la position prosodique. Données de l'expérience EPG pour les 2 locuteurs en contexte /a_a/. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)

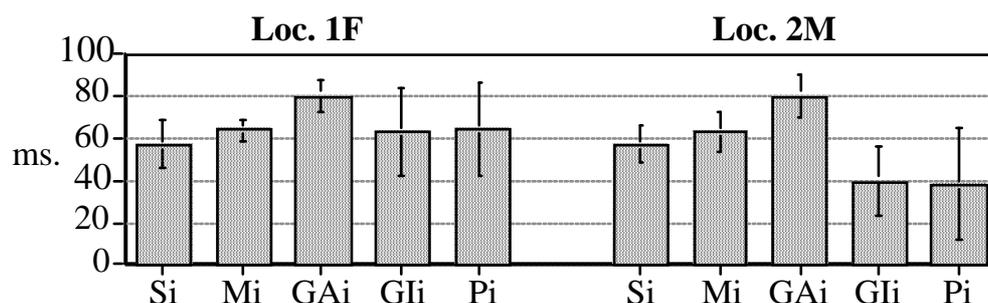


Tableau V.1 : Comparaisons entre les positions prosodiques pour la durée acoustique de /n/. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	/a_a/ aérodynamique	/a_a/ EPG	/i_i/ aérodynamique
Loc. 1F	F(3,70)=8,2; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi; Si <* GLi	F(4,90)=6,7; p=0,0001 GAi >* Si, Mi, GLi, Pi	F(3,68)=20,4; p=0,0001 Si, Mi, GAi >* GLi
Loc. 2M	F(3,54)=21,0; p=0,0001 Si, GLi <* Mi <* GAi	F(4,90)=21,6; p=0,0001 GAi >* Mi >* Si >* GLi, Pi	F(3,62)=8,6; p=0,0001 Mi, GAi >* GLi; Si <* GAi
Loc. 3F	F(3,68)=12,3; p=0,0001 Si, Mi, GLi <* GAi		F(3,68)=7,3; p=0,0003 Si, GAi >* GLi; Mi <* GAi
Loc. 4F	F(3,59)=9,2; p=0,0001 Si, Mi <* GAi, GLi		F(3,58)=6,7; p=0,0006 GAi >* Si, Mi >* GLi

Regardons en premier lieu les positions les plus hautes, GLi-Pi, qui sont aussi les positions où /n/ est précédé d'une pause.

- En contexte /i_i/, les /n/ en position GLi sont plus courts que dans toutes les positions inférieures. En contexte /a_a/, presque tous les /n/ en position GLi-Pi sont plus courts qu'en position GAi (sauf pour 1F et 4F dans l'expérience aérodynamique). Ils ont une durée soit inférieure, soit égale à celle des /n/ en positions Mi et Si. D'autre part, quel que soit le contexte vocalique, les écarts types indiquent que la variation de durée entre les 20 répétitions de chaque locuteur est plus importante dans ces positions GLi et Pi.

La variabilité de la durée acoustique des segments en début d'énoncé ou après une pause a été relevée dans la littérature à plusieurs reprises [p. ex., Lisker & Abramson 1967, Flege 1982, Fujimura & Erickson 1997]. Dans ces positions, la mise en place des conditions aérodynamiques favorables à l'initiation du voisement requière un ajustement temporel précis des événements articulatoires glottaux et supraglottaux. L'initiation du flux d'air à travers la glotte, l'adduction des cordes vocales, la chute de pression transglottale sont autant d'événements qui peuvent retarder le début du voisement et donc faire varier la durée acoustique de /n/. Au contraire, lorsque /n/ est intervocalique, cette coordination temporelle précise n'est pas nécessaire puisque le voisement est continu de la voyelle à la consonne. Dans le cas du contexte /i_i/, cet effet apparaît encore plus clairement. La consonne /n/ est suivie d'une voyelle fermée. Il est probable que la position de la langue pendant la consonne anticipe la position haute pour la voyelle suivante. La cavité orale est donc plus étroite et offre une plus grande résistance au passage de l'air dans la cavité orale et donc retarde le déséquilibre entre pressions sous et supraglottale nécessaire au voisement. L'influence de la hauteur de la voyelle suivante sur la durée du VOT des consonnes sourdes a déjà été largement décrite [voir Ohala 1981, par exemple].

Puisque la présence d'une pause influence la durée acoustique de /n/, nous nous intéresserons plus particulièrement aux durées des /n/ dans les positions GAi, Mi et Si pour isoler l'effet de la position prosodique sur la durée de /n/. Dans ces positions, /n/ est intervocalique et le voisement est continu de la voyelle à la consonne. La significativité des comparaisons statistiques entre ces trois positions est donnée dans le tableau V.2

- Sur les graphes 5-1 et 5-2, la tendance la plus marquante est l'allongement de la durée de /n/ en début de Groupe Accentuel (GAi). En contexte /a_a/, il y a un allongement progressif de la durée de /n/ de la position Si, à la position Mi, à la position GAi pour tous les locuteurs. En contexte /i_i/, il y a aussi un allongement de /n/ en position GAi, mais celui-ci se fait par rapport à Si ou à Mi en fonction du locuteur.

Tableau V.2 : Comparaisons de la durée acoustique de /n/ entre les positions prosodiques non précédées d'une pause (GAi, Mi et Si). Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	/a_a/ aérodynamique	/a_a/ EPG	/i_i/ aérodynamique
Loc. 1F	F(2,57)=19,0; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi	F(2,57)=37,0; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi	F(2,51)=3,3; p=0,05 Si, Mi <* GAi
Loc. 2M	F(2,50)=37,8; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi	F(2,54)=38,2; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi	F(2,50)=4,2; p=0,02 Si <* GAi
Loc. 3F	F(2,49)=21,4; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi		F(2,50)=4,4; p=0,02 Mi <* Si, GAi
Loc. 4F	F(2,47)=30,8; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi		F(2,54)=4,6; p=0,01 Si, Mi <* GAi

A.2 La latérale /l/

Les durées acoustiques de la consonne latérale /l/ présentent une tendance semblable à celle observée pour /n/. Les durées de /l/ sont présentées la figure 5-3 (valeurs en annexe 3). Les résultats statistiques sont donnés dans le tableau V-3.

- Il y a un allongement de la consonne /l/ en position GAi par rapport aux autres positions. En position Gli, lorsque /l/ est précédée d'une pause, la consonne est plus courte qu'en position GAi et est égale ou inférieure aux positions Mi et Si. La durée de la consonne est la même dans les positions Mi et Si.

Figure 5.3 : Durée acoustique de /l/ en fonction de la position prosodique. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)

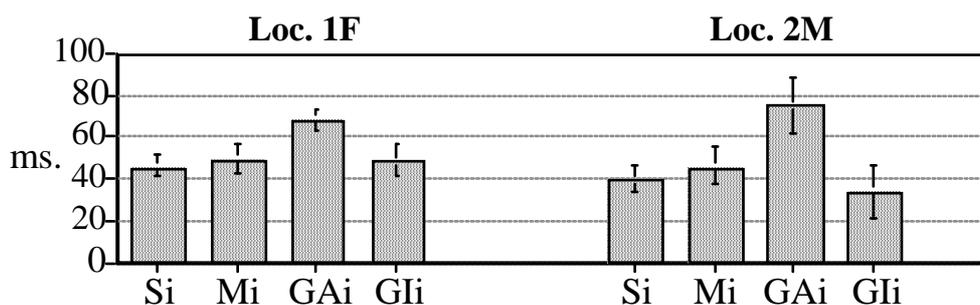


Tableau V.3 : Comparaisons des durées acoustiques de /l/ et /s/ entre toutes les positions (2ème colonne) et entre positions prosodiques non précédées d'une pause (GAi, Mi et Si) (3ème colonne). Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

		ANOVA: toutes les positions	ANOVA: positions Si, Mi et GAi
/l/	Loc. 1F	F(3,36)=25,3; p=0,0001 GAi >* Si, Mi, Gli	F(2,27)=44,9; p=0,0001 GAi >* Si, Mi
	Loc. 2M	F(3,34)=28,4; p=0,0001 GAi >* Si, Mi, Gli; Mi >* Gli	F(2,26)=36,0; p=0,0001 GAi >* Si, Mi
/s/	Loc. 1F	F(4,93)=8,3; p=0,0001 Mi <* Si, GAi, Gli, Pi; GAi <* Pi	F(2,56)=30,7; p=0,0001 Si >* GAi >* Mi

Loc. 2M	F(4,93)=11,3 p=0,0001 GAi >* Si, Mi, GIi, Pi; Si >* GIi	F(2,57)=23,7; p=0,0001 GAi >* Si, Mi
---------	--	---

Relations avec les variations articulatoires observées pour /n/ et /l/ :

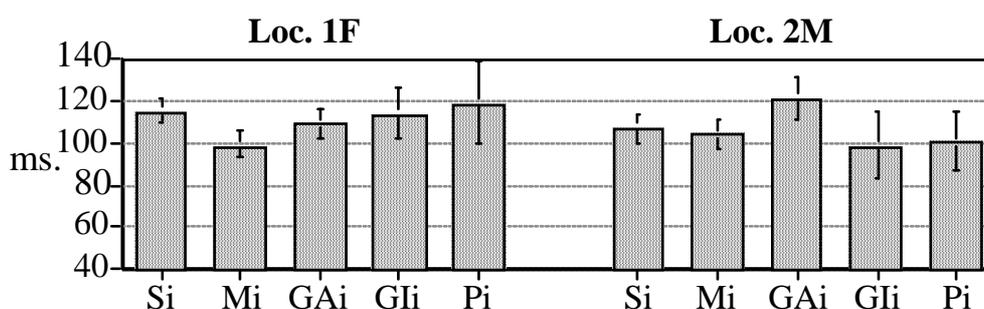
Nous avons vu qu'il y a une augmentation progressive du contact linguopalatal des positions Si, à Mi, à GAi, à GIi pour /n/ et des positions Si, à Mi, à GAi-GIi pour /l/. Cette variation articulatoire linguale est accompagnée d'un allongement de la durée acoustique de la consonne des positions Si-Mi à GAi. Par contre, aux positions supérieures GIi-Pi, quand la consonne est précédée d'une pause, l'augmentation du contact linguopalatal ne s'accompagne pas d'un allongement de la durée acoustique, puisque /n/ et /l/ sont courts en position GIi-Pi. En position GIi et Pi, les variations articulatoires spatiales (augmentation du contact et diminution du débit nasal) pour /n/ en contexte /a_a/ sont associées à un allongement de la durée du geste lingual et de la nasalisation. Ces variations temporelles des gestes articulatoires ne se manifestent pas par un allongement de la consonne sur le plan acoustique. Au contraire, le délai provoqué par la reprise du voisement après la pause rend ces consonnes plus, ou aussi, courtes que dans les positions inférieures.

I.B. La fricative sourde : /s/

La durée de la fricative sourde est mesurée sur un spectrogramme entre le début de l'apparition du bruit fricatif dans les hautes fréquences et l'apparition des formants supérieurs pour la voyelle suivante. Les durées de /s/ sont présentées sur la figure 5-4 (valeurs en annexe 3). Les résultats des comparaisons statistiques sont donnés dans le tableau V-3.

- La durée de l'intervalle fricatif varie en fonction du locuteur. Pour le locuteur 1F, un allongement progressif de la durée de /s/ apparaît de la position Mi, à GAi, à Pi. La position Si ne suit pas cette tendance. Pour le locuteur 2M, on retrouve le schéma présenté pour les autres consonnes : les /s/ en GAi sont plus longs que dans les autres positions. Pour les deux locuteurs, la durée de /s/ est plus variable dans les positions précédées d'une pause (GIi et Pi) comme l'indiquent les écarts types sur la figure 5-4.

Figure 5.4 Durée acoustique de /s/ en fonction de la position prosodique. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)



Relations avec les variations articulatoires observées :

Pour le locuteur 1F, les variations dans la durée du /s/ reflètent particulièrement bien les variations de contact linguopalatal (comparer les figures 3-13 et 5-4). De la position Mi aux positions supérieures, le contact linguopalatal et la durée de la consonne tendent à s'accroître. Pourtant, ni la durée, ni le degré de contact ne permettent de distinguer toutes les positions prosodiques. Nous avons remarqué, en examinant le degré de contact particulièrement important de /s/ en position Si pour ce locuteur, que cette position a un statut particulier et ne suit pas une tendance hiérarchique. Il apparaît ici que /s/ est particulièrement long dans cette position, ce qui peut expliquer l'importance de son contact linguopalatal.

Pour le locuteur 2M, l'allongement de la durée de /s/ en position GAi par rapport aux positions inférieures s'accompagne d'une augmentation de contact linguopalatal. Mais cette relation ne se maintient pas pour les positions supérieures Gli et Pi qui voient leur durée diminuer et leur contact augmenter.

I.C. Les occlusives sourdes, /t/ et /k/

Pour les occlusives sourdes /t/ et /k/, la durée du VOT est mesurée entre le bruit de relâchement de l'occlusion et l'apparition des formants supérieurs de la voyelle suivante. Dans les positions Si, Mi et GAi, où la consonne n'est pas précédée d'une pause (ce que j'infère d'après les données EPG et l'absence de pause pour les autres consonnes dans ces positions), la durée de la tenue de la consonne est mesurée entre l'apparition-disparition des formants supérieurs des voyelles droite et gauche. Les durées du VOT et de la tenue de /t/ et /k/ sont présentées dans les figures 5-5 (VOT) et 5-6 (tenue) (valeurs en annexe 3). Les comparaisons statistiques en fonction de la position prosodique sont données dans le tableau V-4.

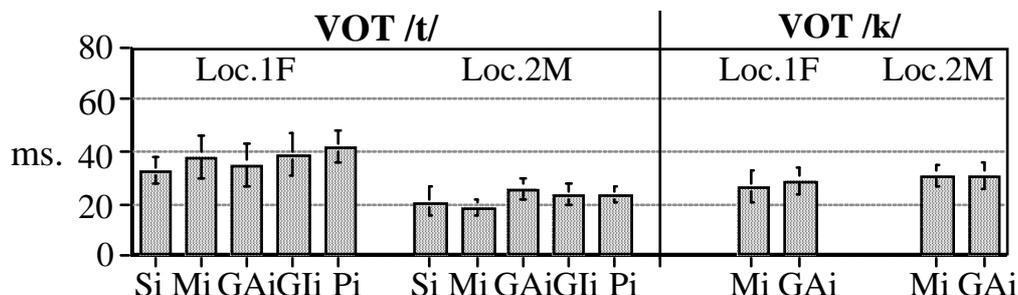
Tableau V.4 : Comparaisons de la durée du VOT et de la tenue consonantique de /t/ et /k/, entre toutes les positions pour le VOT et entre les positions GAi, Mi et Si pour la tenue. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

		VOT	Tenue
/t/	Loc. 1F	F(4,97)=4,8; p=0,002 Si <* Mi, Gli, Pi ; GAi <* Pi	F(2,59)=59,3; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi
	Loc. 2M	F(4,97)=8,2; p=0,0001 Si, Mi <* GAi, Gli, Pi	F(2,59)=59,3; p=0,0001 Si <* Mi <* GAi
/k/	Loc. 1F	F(2,44)=1,8; p=0,2 ns	F(1,29)=14,5; p=0,0007 Mi <* GAi
	Loc. 2M	F(2,42)=1,2; p=0,3 ns	F(1,29)=12,1; p=0,002 Mi <* GAi

C.1. VOT

Pour /k/, la durée du VOT ne varie pas en fonction de la position prosodique. Pour /t/, il y a une variation significative de la durée du VOT en fonction de la position prosodique mais la tendance n'est pas très nette. Pour le locuteur 1F, les /t/ en début de Syllabe ont un VOT plus court que dans les positions Mi, Gli et Pi. En position GAi, la durée du VOT ne diffère pas de celle des autres positions. Pour le locuteur 2M, les /t/ dans les positions inférieures Si et Mi ont un VOT plus court que dans les positions supérieures GAi, Gli et Pi.

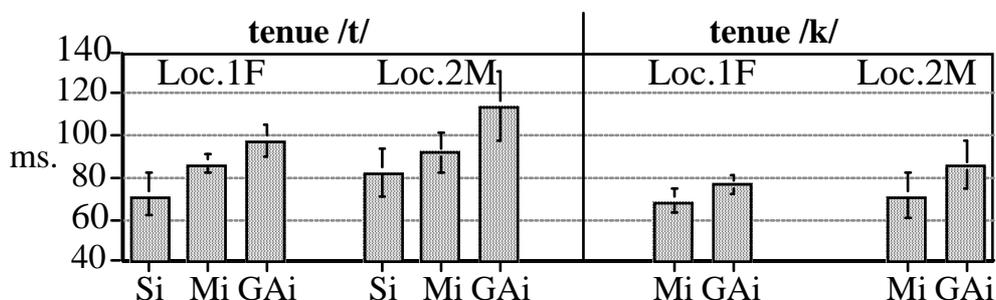
Figure 5.5 : Durée du VOT des consonnes sourdes /t/ et /k/ en fonction de la position prosodique. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)



C.2. Tenue de l'occlusion

Pour les deux locuteurs, il y a un allongement de la durée de la tenue de /t/ et /k/ en fonction de la position prosodique. Cet allongement est progressif de la position Si, à Mi, à GAi pour /t/ et de Mi à GAi pour /k/ (pour /k/ la position Si n'est pas examinée).

Figure 5.6 :Durée de la tenue acoustique des consonnes sourdes /t/ et /k/ en fonction de la position prosodique. Données pour les consonnes non-précédées d'une pause (Si, Mi, GAi) pour lesquelles la tenue a pu être mesurée. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)



Relations avec les variations articulatoires observées :

La durée acoustique des consonnes sourdes s'allonge des positions Si, Mi à GAi. Cet allongement est dû principalement à un allongement de la tenue de la consonne et parfois à un allongement du VOT (loc. 2M).

Les variations de durée acoustique des consonnes sourdes suivent la tendance observée pour les variations de contact linguopalatal. Toutefois, les variations de durée acoustique permettent de distinguer un nombre plus important de positions prosodiques. Pour les positions Si, Mi et GAi (pour lesquelles j'ai pu mesurer la tenue consonantique), j'observe un allongement progressif de la durée de la tenue consonantique entre les trois positions. Par contre, pour le degré de contact linguopalatal, les positions Si et Mi pour /t/ et les positions Mi et GAi pour les /k/ du locuteur 2M, ne se différencient pas par une augmentation du contact.

Comparativement à la durée de l'occlusion linguale, la durée acoustique de la tenue des consonnes permet aussi de distinguer un nombre plus important de positions : les positions Mi et GAi pour /k/ (non distingués par la durée de l'occlusion), les positions Mi et GAi pour /t/ du locuteur 1F et les positions Si et Mi pour /t/ du locuteur 2M.

I.D. Les voyelles : /i/ et /A\$/

La durée des voyelles /i/ et /A\$/ est mesurée sur les spectrogrammes à partir du début du voisement et l'apparition des formants supérieurs de la voyelle. Si la voyelle est précédée d'un intervalle glottalisé (pour /i/, voir section III) cet intervalle n'est pas inclus dans ces mesures. La fin de la voyelle est déterminée pour /i/ à l'arrêt du formant F2, et pour /A\$/ à l'arrêt des formants supérieurs et l'arrêt du débit d'air oral correspondant à l'occlusion linguale pour la consonne /d/ suivante. Les durées des voyelles sont présentées sur les figures 6-7 pour /i/ et 6-8 pour /A\$/ (valeurs en annexe 3). Les résultats des comparaisons statistiques sont donnés dans le tableau V-5.

- En général, il y a peu de variation dans la durée des voyelles en fonction de la position prosodique. Pour la voyelle /i/, seul le locuteur 2M présente un allongement significatif de /i/ en position GAi. Pour le locuteur 1F, les /i/ en position GAi tendent aussi à être plus longs, mais cette différence n'est pas significative. Pour la voyelle /A\$/, le locuteur 1F présente un allongement de la voyelle en position GLi par rapport à la position Mi. Le locuteur 2M présente un allongement de /A\$/ en position Mi par rapport aux deux positions supérieures. Pour les deux autres locuteurs, la durée de /A\$/ ne varie pas.

Tableau V.5 : Comparaisons de la durée des voyelles /i/ et /A\$/ entre les positions prosodiques. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	/i/	/A\$/
Loc. 1F	F(2,45)=1,9; p=0,2 ns	F(2,27)=2,2; p=0,1 ns Mi <* GIi
Loc. 2M	F(2,43)=7,3; p=0,002 GAi >* Mi, GIi	F(2,24)=11,9; p=0,003 Mi >* GAi, GIi
Loc. 3F		F(2,25)=0,1; p=0,4 ns
Loc. 4F		F(2,27)=0,2; p=0,8 ns

Figure 5.7 : Durée acoustique de /i/ en fonction de la position prosodique. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)

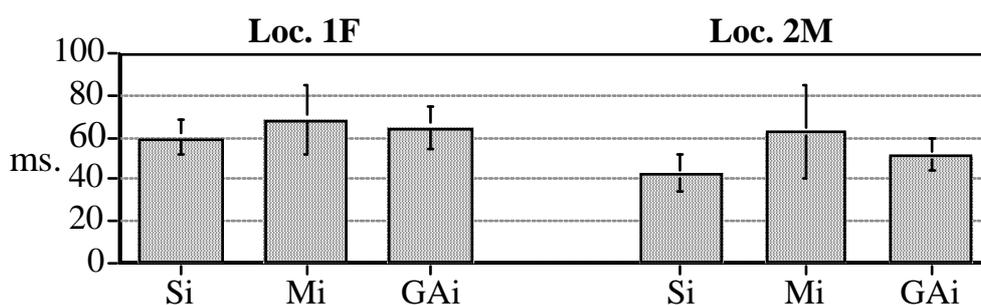
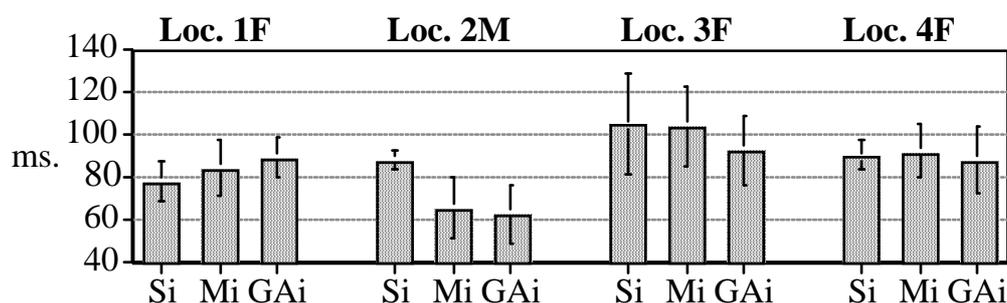


Figure 5.8 : Durée acoustique de /A\$/ en fonction de la position prosodique. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)



Relations avec les variations articulatoires observées :

Les variations dans la durée de /i/ ne reflètent pas les variations observées pour le degré de contact linguopalatal. La voyelle /i/ se distingue par un contact linguopalatal moins important en position Mi, mais à cette position sa durée acoustique est similaire à celle de la position GIi (qui a plus de contacts). Pour la voyelle /A\$/, par contre, la variation de durée du locuteur 2M suit la même tendance que la variation de débit nasal. Pour ce locuteur, la voyelle /A\$/ en position Mi est plus longue et à un débit nasal plus important. Pour le locuteur 3F qui a une diminution progressive du débit nasal de la position Mi à GAi à GIi, cette diminution ne s'accompagne pas d'une variation de durée acoustique.

I.E. Conclusion I : variations de durée acoustique

La durée acoustique des consonnes initiales ne suit que partiellement la hiérarchie prosodique. Il y a un allongement très net de la consonne en position GAi. Il y a parfois un allongement progressif de la durée des consonnes de la position Si à la position Mi puis à la position GAi, mais ceci dépend des consonnes et des locuteurs. Dans les positions supérieures GIi et Pi (précédée d'une pause), la durée acoustique de la consonne

n'est pas plus longue que celle des positions inférieures. Elle est généralement plus courte que dans la position GAi et elle est égale ou inférieure à celle des positions Si et Mi. Dans ces positions GIi et Pi, la durée acoustique est également plus variable que dans les autres positions.

Pour les voyelles, il y a peu de variation de la durée en fonction de la position prosodique. Quand il y a une variation, les modifications ne suivent pas de tendance précise : allongement en GAi pour /i/ de 2M, allongement en Mi pour /A\$/ de 2M, allongement en GIi pour /A\$/ de 1F.

Les variations articulatoires observées dans les positions supérieures GIi et Pi (augmentation du contact linguopalatal, diminution du débit nasal) ne s'accompagnent pas d'un allongement de la durée acoustique du segment. Par contre, dans les positions Si, Mi et GAi, l'augmentation du contact linguopalatal s'accompagne d'une augmentation de la durée des consonnes. Pourtant, le nombre et la nature des positions prosodiques distinguées par les variations de durée acoustique ou par les variations articulatoires ne sont pas toujours les mêmes :

- parfois, les variations temporelles distinguent un nombre plus important de positions que les variations articulatoires (pour la durée des consonnes sourdes, par ex.)

- parfois, les variations temporelles ne reflètent pas les différences articulatoires qui peuvent exister entre positions prosodiques (en particulier l'augmentation de contact et la diminution du débit nasal dans les positions GIi et Pi par rapport aux positions inférieures).

Il n'est donc pas possible de dire que les variations temporelles sont le corrélat acoustique des variations articulatoires ou que les variations articulatoires sont la conséquence des variations temporelles. L'allongement de la durée acoustique et les variations articulatoires apparaissent plutôt comme deux indices d'un même mécanisme (graduel et multi paramétrique) de marquage des frontières prosodiques. Dans cette optique, l'allongement de la durée des consonnes en position GAi est l'indice le plus marquant pour distinguer cette position des positions inférieures et supérieures.

II. VARIATIONS D'ENERGIE ACOUSTIQUE

II.A. L'occlusive nasale /n/

Une mesure de l'énergie acoustique de la consonne /n/ a été effectuée sur l'enveloppe d'énergie calculée à partir du signal acoustique, au point où l'énergie est maximale pendant la consonne. Afin d'obtenir une mesure relative d'énergie, j'ai mesuré le maximum d'énergie dans la voyelle suivante, et je compare l'énergie des consonnes relativement à l'énergie de la voyelle suivante :

$$\text{Énergie relative} = (\text{énergie de V2} - \text{énergie de /n/})$$

Ainsi, je compare la différence d'énergie entre la consonne et la voyelle suivante aux différentes positions prosodiques. Ces mesures ont été effectuées sur le signal acoustique des données EPG et des données aérodynamiques. Pour le locuteur 4F, l'énergie des séquences /ni/ en position GIi n'a pas été mesurée car le signal acoustique était bruité.

Les différences d'énergie entre /n/ et la voyelle suivante sont présentées dans les figures 5-9, 5-10 et 5-11 pour les séquences /na/ des données EPG, des données aérodynamiques et les séquences /ni/ des données aérodynamiques, respectivement. Comme une variation dans la différence d'énergie V2-/n/, peut être la conséquence d'une variation de /n/ ou de V2, l'énergie des deux segments est présentée en dessous de chaque graphe. Les comparaisons statistiques entre les positions sont présentées dans le tableau V-6.

- A première vue, l'examen de ces graphes montre que l'énergie acoustique peut varier en fonction de la position prosodique mais aucune tendance générale n'apparaît, en particulier pour l'énergie absolue de /n/ ou de V2.
- Si l'on regarde les différences d'énergie V2-/n/, les variations en fonction de la position prosodique sont fonction du locuteur. Pour le locuteur 1F, il y a une augmentation de la différence V2-/n/ des positions Si-Mi à GAi à GIi-Pi qui apparaît sur les trois graphes. Pour le locuteur 3F, il y a une augmentation de la

différence V2-/n/ en position Gli par rapport aux positions inférieures. Pour le locuteur 4F, il y a une augmentation de la différence V2-/n/ des positions Si-Mi à Gli à GAi pour la séquence /na/ mais pas de différence pour la séquence /ni/. Pour le locuteur 2M, c'est la position Mi qui se distingue des autres positions par une plus petite différence V2-/n/.

En résumé, pour 3 locuteurs (1F, 3F, 4F /na/), la différence d'énergie acoustique entre la consonne et la voyelle suivante tend à être plus grande dans la position Gli. Pour le locuteur 2M, c'est le manque de distinction entre la consonne et la voyelle suivante en position Mi qui apparaît. D'autre part, l'augmentation de la différence V2-/n/ ne se fait pas toujours par une diminution de l'énergie de /n/ par rapport à V2 : en fonction du locuteur, ce sont les variations de /n/ et/ou de V2 qui contribuent à accroître la différence V2-/n/.

Tableau V.6 : Comparaisons entre positions prosodiques pour (1) la différence d'énergie acoustique V2-/n/ ; (2) le maximum d'énergie acoustique de /n/ ; (3) le maximum d'énergie acoustique de V2. Données pour les séquences /na/ des données EPG et des données aérodynamiques, et les séquences /ni/ des données aérodynamiques. Résultats des tests ANOVA (1 facteur "position") et post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

		V2- /n/	/n/	V2
/na/ EPG	Loc. 1F	F(4,93)=15,0; p=0,0001 Si, Mi <* GAi <* Gli	F(4,93)=8,02; p=0,0001 Si>*GAi>*Gli,Pi;Mi>*Gli,Pi	F(4,93)=1,3; p=0,3 ns
	Loc. 2M	F(4,91)=10,6; p=0,0001 Mi, GAi <* Si, Gli, Pi	F(4,91)=7,7; p=0,0001 Si, Mi, GAi >* Gli, Pi	F(4,91)=11,3; p=0,0001 Si >* Mi,GAi,Gli>* Pi
/na/ aérodynamique	Loc. 1F	F(3,70)=13,7; p=0,0001 Si, Mi <* GAi <* Gli	F(3,70)=1,0; p=0,4 ns	F(3,70)=1,2; p=0,3 ns
	Loc. 2M	F(3,54)=2,0; p=0,1 ns Mi <* GAi	F(3,54)=0,6; p=0,6 ns	F(3,54)=1,2; p=0,3 ns
	Loc. 3F	F(3,61)=16,5; p=0,001 Si, Mi, GAi <* Gli	F(3,61)=5,0; p=0,004 GAi >* Si, Mi, Gli	F(3,61)=2,3; p=0,6 ns GAi >* Si, Mi
	Loc. 4F	F(3,59)=37,7 p=0,0001 Si, Mi <* Gli <* GAi	F(3,59)=7,0 p=0,0004 Mi >* Si, GAi; Gli >* Si	F(3,59)=11,4; p=0,0001 Si <* Mi, GAi, Gli
/na/ aérodynamique	Loc. 1F	F(3,68)=15,8; p=0,0001 Si, Mi <* GAi <* Gli	F(3,68)=0,3; p=0,9 ns	F(3,68)=0,6; p=0,6 ns
	Loc. 2M	F(3,62)=9,5; p=0,0001 Mi <* Si, GAi, Gli	F(3,62)=1,3; p=0,3 ns	F(3,62)=1,2; p=0,3 ns
	Loc. 3F	F(3,61)=9,0; p=0,0001 Si, Mi, GAi <* Gli	F(3,61)=1,1; p=0,4 ns	F(3,61)=0,2; p=0,9 ns
	Loc. 4F	F(2,32)=2,3; p=0,1 ns	F(2,32)=0,2; p=0,8 ns	F(2,32)=0,9; p=0,4 ns

Figure 5.9 : Énergie acoustique pour /n/ en fonction de la position prosodique. Différence d'énergie acoustique entre /n/ et la voyelle suivante /a/, et énergie de /n/ et de /a/. Données de l'expérience EPG.

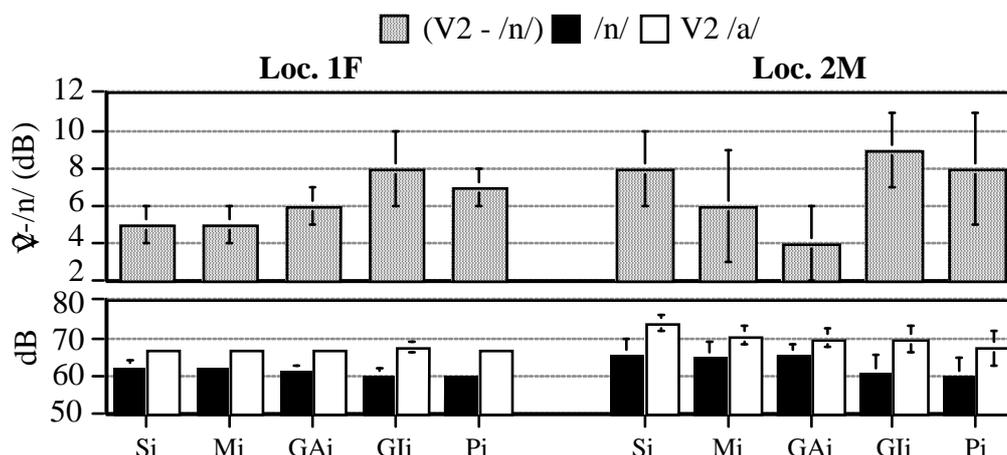


Figure 5.10 : Énergie acoustique pour /n/ en fonction de la position prosodique. Différence d'énergie acoustique entre /n/ et la voyelle suivante /a/, et énergie de /n/ et de /a/. Données de l'expérience de débit d'air.

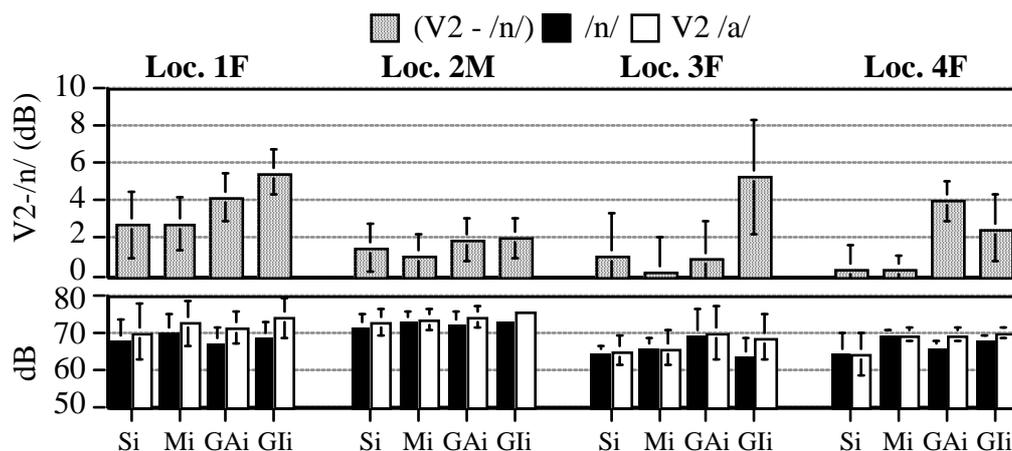
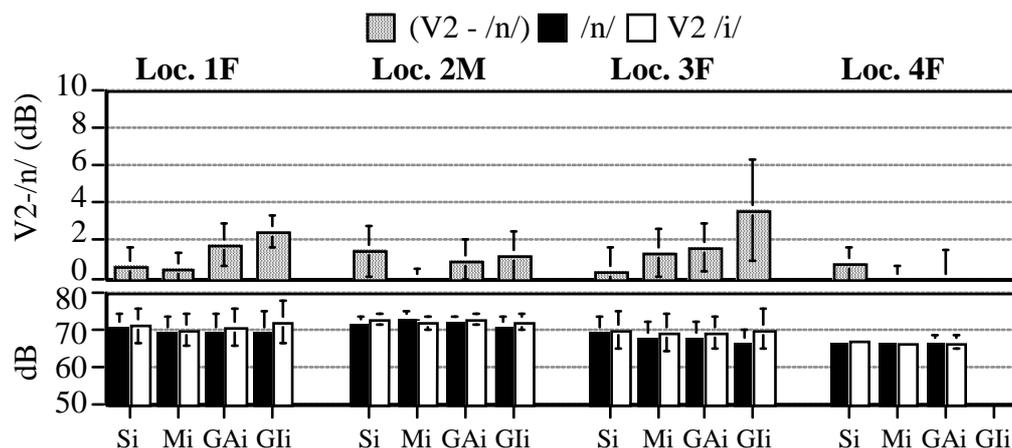


Figure 5.11 : Énergie acoustique pour /n/ en fonction de la position prosodique. Différence d'énergie acoustique entre /n/ et la voyelle suivante /i/, et énergie de /n/ et de /i/. Données de l'expérience de débit d'air. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)



II.B. La latérale /l/

Pour la consonne /l/, l'énergie de la consonne est calculée par une mesure d'énergie moyenne (RMS) calculée sur toute la durée de la consonne⁵⁰. L'enveloppe d'énergie est calculée à partir du signal acoustique. L'énergie moyenne de la consonne est exprimée relativement à l'énergie moyenne de la voyelle suivante (énergie de V2-énergie de /l/). Cette différence d'énergie V2-/l/, ainsi que l'énergie de /l/ et de V2, sont présentés dans la figure 5-12. Les comparaisons statistiques sont données dans le tableau V-7.

- Pour le locuteur 1F, il y a une augmentation de la différence entre la consonne et la voyelle suivante en position Gli qui est le résultat d'une diminution de l'énergie moyenne de /l/ à cette position. Pour le locuteur 2M, l'énergie de /l/ diminue aussi en position Gli mais ceci ne se traduit pas par une augmentation de la distinction V2-/l/ car l'énergie de V2 diminue parallèlement. Pour ce locuteur 2M, il y a une

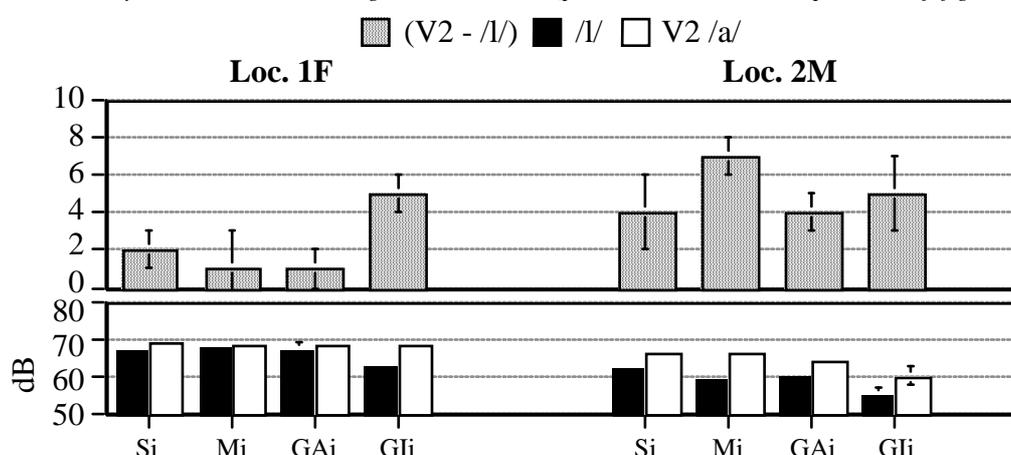
⁵⁰ Pour la consonne /n/, je n'ai présenté que les mesures d'énergie relevées au point où l'énergie est maximale pendant la consonne. Pour les données de l'expérience EPG, j'ai également relevé l'énergie moyenne (RMS) calculée sur toute la durée de la consonne. Les résultats avec ce type de mesure sont similaires à ceux présentés pour les maxima d'énergie. Pour la consonne /l/, je n'ai relevé que l'énergie moyenne (RMS) de la consonne car ces données étaient plus simples à acquérir.

augmentation inattendue de la distinction V2-/l/ en position Mi, provoquée par une augmentation de l'énergie de V2 et une diminution de l'énergie de /l/.

Tableau V.7 : Comparaisons entre positions prosodiques pour (1) la différence d'énergie acoustique V2-/l/ ; (2) l'énergie acoustique moyenne de /l/ (RMS) ; (3) l'énergie acoustique moyenne de V2. Résultats statistiques des tests ANOVA (1 facteur "position") et des comparaisons par paire effectuées par un test post-hoc Fisher PLSD. "ns" = $p \geq 0,05$. "*" = $p < 0,05$.

	V2- /l/	/l/	V2
Loc. 1F	F(3,36)=28,8; p=0,0001 Mi, GAi <* Si <* Gli	F(3,36)=33,4; p=0,0001 Mi, GAi >* Gli, Si <* Mi; Si >* Gli	F(3,36)=1,1; p=0,4 ns
Loc. 2M	F(3,34)=10,0; p=0,0001 Mi >* Si, GAi, Gli	F(3,34)=26,7; p=0,0001 Mi, GAi >* Gli, Si >* Mi; Si >* Gli	F(3,34)=31,2; p=0,0001 Si, Mi >* GAi >* Gli

Figure 5.12 : Énergie acoustique pour /l/ en fonction de la position prosodique. Différence d'énergie acoustique entre /n/ et la voyelle suivante /a/, et énergie de /l/ et de /a/. (pour les abréviations des positions, cf. figure 5.1)



II.C. Conclusion II : variation d'énergie acoustique

Les variations dans l'énergie acoustique des consonnes sonores /n/ et /l/ ne reflètent que très peu les tendances observées pour les données articulatoires et temporelles. Il y a une grande variabilité entre les locuteurs, les consonnes et les contextes dans la direction des variations d'énergie. La tendance la plus fréquemment observée est une augmentation de la distinction en terme d'énergie acoustique entre la consonne et la voyelle suivante en position Gli. Dans ces cas, la consonne est plus "saillante" en terme d'énergie dans la syllabe CV.

Une diminution de l'énergie acoustique des consonnes /n/ et /l/ en position Gli n'est pas inattendue et peut s'expliquer par les variations articulatoires observées dans cette position :

- pour la consonne /n/, la diminution du débit d'air nasal (due au rétrécissement de l'ouverture vélopharyngée) observée en Gli peut diminuer son énergie acoustique.

- l'augmentation de la constriction linguale pour /n/ et /l/, et le rétrécissement de l'orifice vélopharyngé pour /n/, provoquent une augmentation de la pression intra-orale qui va contraindre le voisement. Le débit d'air passant à travers la glotte s'échappera plus difficilement vers la cavité orale quand la pression est forte et par conséquent l'amplitude des vibrations laryngées sera réduite et l'amplitude du voisement en sera diminuée. Une mesure de l'énergie dans les basses fréquences pourraient peut être mieux rendre compte de ces variations.

III. VARIATIONS DE LA FREQUENCE DE GLOTTALISATION DE LA VOYELLE INITIALE /i/

Plusieurs études ont montré qu'en anglais-américain, la glottalisation des voyelles en début de mot est conditionnée par la position prosodique du mot [cf. Introduction II.B.2]. Dans cette section, je cherche à déterminer si la glottalisation de la voyelle /i/ en français dépend aussi de la position prosodique de la voyelle.

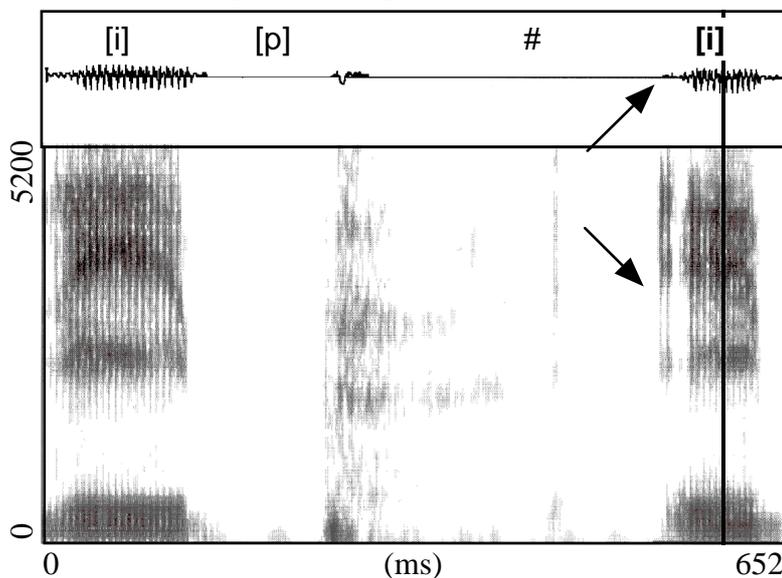
À partir d'un examen du signal acoustique et du spectrogramme des voyelles /i/ produites par les locuteurs 1F et 2M dans l'expérience EPG, j'ai relevé les cas de glottalisation en fonction de la position prosodique. Les critères pour déterminer si la voyelle est glottalisée sont :

- (1) la présence de pics irréguliers sur le signal bien avant le début des vibrations régulières et l'apparition des formants de la voyelle. Ces pics correspondent à des coups de glotte et se traduisent parfois par une excitation très courte dans les hautes fréquences (un double burst) au début de la voyelle. Un exemple est présenté pour le locuteur 1F sur la figure 5-13a pour un /i/ en position GIi produit par le locuteur 1F.
- (2) l'irrégularité des vibrations dans le signal acoustique au début de la voyelle. Le voisement est discontinu et les formants supérieurs de la voyelle ne sont que partiellement excités. Des exemples sont présentés pour les locuteurs 1F et 2M sur la figure 5-13b.

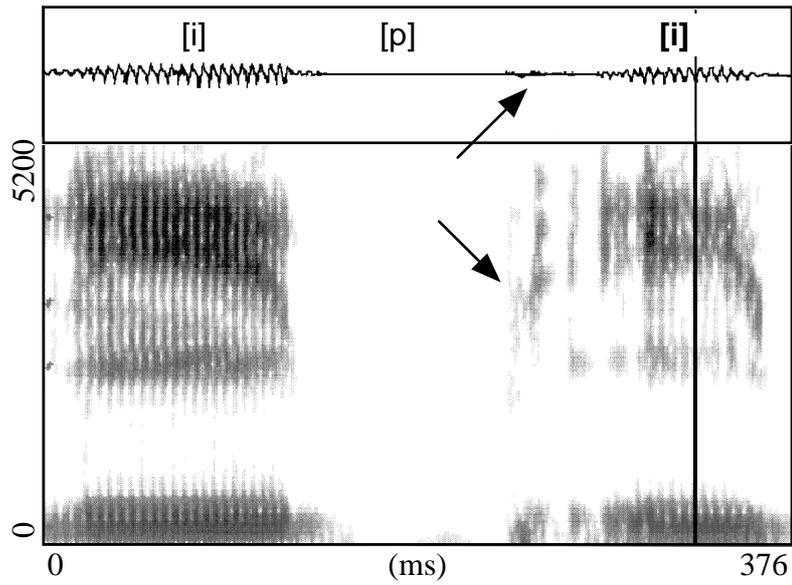
Pour comparaison, un /i/ non glottalisé est présenté dans la figure 5-13c. Enfin, j'ai vérifié en écoutant les signaux que les voyelles étaient bien glottalisées ou précédées d'un coup de glotte.

Figure 5.13 : Exemples illustrant les différences dans l'attaque de la voyelle initiale /i/. En (a) la glottalisation de la voyelle est indiquée par la présence de pics irréguliers sur le signal qui correspondent à des coups de glotte et se traduisent par une excitation très courte dans les hautes fréquences (un double burst) au début de la voyelle. En (b) la glottalisation de la voyelle est indiquée par l'irrégularité des vibrations dans le signal acoustique au début de la voyelle, la discontinuité du voisement et les formants supérieurs que partiellement excités. En (c) la voyelle n'est pas glottalisée.

a. voyelle initiale /i/ glottalisée, position GIi, loc. 1F



b. voyelle initiale /i/ glottalisée, position GAi, loc. 1F



c. voyelle initiale /i/ non-glottalisée, position GAi, loc. 1F

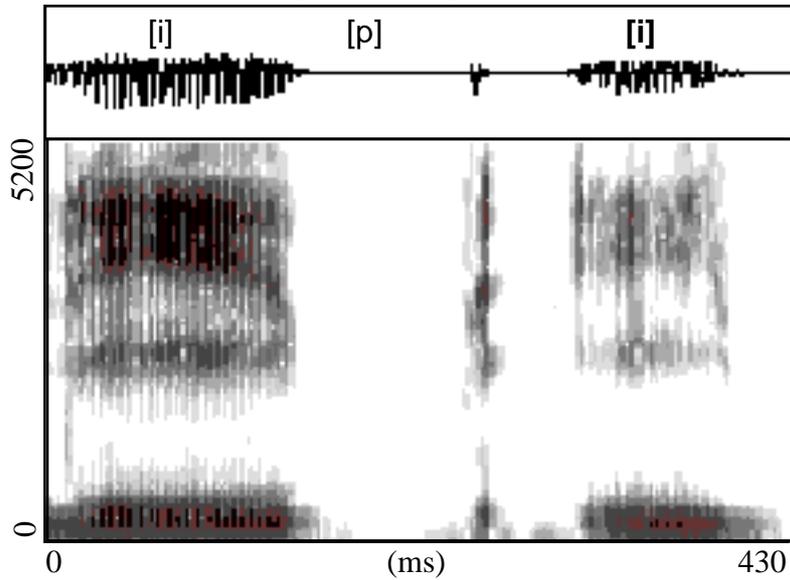
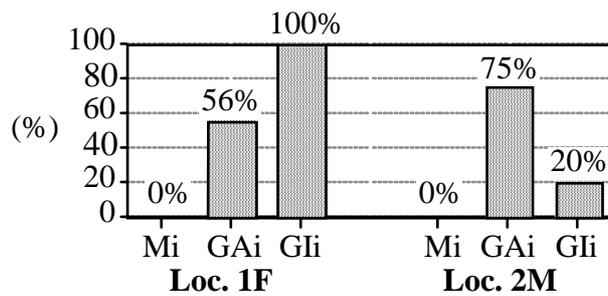


Figure 5.14 : Fréquence d'apparition des cas de glottalisation pour la voyelle /i/ en fonction de la position prosodique. Les pourcentages sont calculés sur les 15 répétitions de la voyelle à chaque position pour les locuteurs 1F et 2M.



La fréquence d'apparition des cas de glottalisation est présentée dans la figure 5-14 pour les deux locuteurs.

- Pour le locuteur 1F, la voyelle initiale /i/ est toujours glottalisée lorsqu'elle est en début de Groupe Intonatif. En début de Groupe Accentuel, la moitié des /i/ sont glottalisés. En début de Mot, aucune des voyelles n'est glottalisée.
- Pour le locuteur 2M, c'est en position GAi que les voyelles sont le plus souvent glottalisées. En position GIi, moins d'un quart des voyelles sont glottalisées et en début de mot aucune voyelle n'est glottalisée.

En résumé, la glottalisation de la voyelle initiale /i/ est fonction de la position prosodique en français. Pour les deux locuteurs, la voyelle en début de Mot n'est jamais glottalisée alors que la fréquence de glottalisation augmente dans les positions supérieures. Pour un des locuteurs (1F), les cas de glottalisation augmentent progressivement en suivant la hiérarchie des positions prosodiques (Mi<GAi<GIi). Pour l'autre locuteur, la présence de glottalisation est plus fréquente en position GAi.

CHAPITRE VI : DISCUSSION

Au terme de cette étude, il apparaît que la position d'un segment dans un constituant prosodique a une influence sur son articulation en français. Dans ce chapitre, je discuterai dans un premier temps des caractéristiques de cette influence, de son aspect optionnel et graduel, des constituants marqués par cette variation articulatoire en français, et du domaine d'application de cette influence prosodique. Dans un deuxième temps, j'essaierai de définir la nature des variations articulatoires et acoustiques observées en fonction des articulateurs et des segments étudiés. J'essaierai de démontrer comment un renforcement articulatoire local sur la position initiale peut expliquer ces variations. Je terminerai par une réflexion sur les fonctions linguistiques possibles des variations articulatoires en position initiale dans des constituants de différents niveaux.

I. UNE INFLUENCE DE LA POSITION PROSODIQUE SUR L'ARTICULATION : CARACTERISTIQUES DU PHENOMENE

I.A. La structuration prosodique de la parole est marquée, en français, par l'articulation des segments en position initiale

Dans cette étude, j'ai montré que *l'articulation d'un segment en français est influencée par sa position dans un constituant prosodique*. Je me suis concentrée sur les caractéristiques des segments en position initiale dans un constituant, c'est à dire des segments précédés d'une frontière prosodique. J'ai observé que *la position initiale dans un constituant est marquée sur le plan articulatoire en français*. Les segments placés en position initiale se distinguent des segments placés en position initiale dans un autre type de constituant. Ils se distinguent également des segments en position médiane dans un constituant, puisque les segments en position initiale dans un constituant inférieur sont aussi en position médiane dans un constituant supérieur. Par contre, je n'apporte pas d'information sur l'articulation des segments finaux en français.

Dans l'introduction, j'ai insisté sur le fait que la plupart des variations connues en fonction de la position prosodique concernent des constituants de niveau inférieur comme la Syllabe ou le Mot. Une des questions posées était donc de savoir si l'articulation d'un segment varie dans des constituants de niveau supérieur, et donc, de savoir si l'articulation reflète l'organisation de la parole en constituants de différents niveaux. Quelques études récentes semblent confirmer ce marquage articulatoire de la structuration prosodique. En anglais, en coréen, en taiwanais, en tamil, en estonien, il a été montré que des variations articulatoires permettent de distinguer des segments placés en position initiale dans des constituants supérieurs au Mot. Elles permettent aussi de distinguer plusieurs niveaux de constituants prosodiques. Dans cette étude, j'ai montré qu'*en français, les variations articulatoires observées permettent de distinguer les positions initiales dans des constituants supérieurs au Mot, tels que le Groupe Accentuel ou le Groupe Intonatif*. Les variations sont fonction du niveau du constituant et donc du poids de la frontière prosodique précédente. Sur les cinq constituants examinés, les caractéristiques articulatoires des segments m'ont permis de distinguer au moins deux niveaux prosodiques et au plus quatre niveaux prosodiques différents. Par contre, comme nous le verrons par la suite, le nombre et la nature des positions distinguées varient fortement.

J'en conclus donc que *l'organisation prosodique d'un énoncé, sa structuration en constituants prosodiques de différents niveaux, est marquée sur le plan articulatoire en français*. Cependant, ce marquage prosodique semble graduel et optionnel.

I.B. Les variations articulatoires : un aspect du marquage multiparamétrique et graduel des frontières prosodiques

Le marquage des frontières prosodiques est réalisé dans le signal de parole par des variations sur plusieurs paramètres. En fonction du type de frontières, on retrouve le plus souvent des variations de durée, de f_0 et de pause.

Au terme de cette étude, je propose de considérer les variations articulatoires observées comme un autre indice de frontières prosodiques. Cet indice n'est pas associé à la position finale comme l'allongement ou le ton final, mais à la position initiale dans un constituant et il apparaît au début de constituants prosodiques de différents niveaux.

Inclure les variations articulatoires observées dans l'ensemble des procédés connus pour marquer les frontières prosodiques ne signifie pas que je considère ces variations comme un indice dominant. Mes résultats ne permettent pas de voir si ces variations articulatoires sont perceptibles ou utilisables par l'auditeur dans sa tâche de segmentation prosodique. D'une part, les quelques paramètres acoustiques étudiés distinguent en général un nombre plus restreint de positions prosodiques que ne le permettent les variations articulatoires. D'autre part, le poids informatif des indices portés sur la syllabe précédant la frontière par la f_0 , l'allongement final ou la pause a été largement démontré dans la littérature. Il est fort probable que même si les variations articulatoires à l'initiale offrent des indices perceptibles, ceux-ci auront un poids informatif moins important que ceux des autres indices suprasegmentaux de frontière en finale.

Quoiqu'il en soit, ces variations articulatoires existent et sont produites par les locuteurs au début de constituants prosodiques de différents niveaux. Ceci me permet d'affirmer *qu'au niveau de la production, au moins, ces variations "segmentales" sont une marque de la structuration prosodique de l'énoncé.*

Les variations articulatoires que j'observe en début de constituant sont conditionnées par le niveau prosodique du constituant, c'est à dire par le poids prosodique de la frontière précédente. Quelles qu'elles soient, les variations articulatoires observées tendent à augmenter parallèlement au niveau du constituant : plus le constituant est haut (i.e. plus la frontière est importante), plus l'amplitude de la variation considérée est importante. Par exemple, le degré de contact linguopalatal, la diminution du débit nasal ou la fréquence de glottalisation des voyelles augmentent pour marquer le début d'un constituant supérieur par rapport au début d'un constituant inférieur. *L'augmentation progressive de ces variations articulatoires reflète donc la hiérarchie prosodique des constituants et des frontières.*

D'autre part, comme pour l'allongement final ou la hauteur de f_0 , les variations articulatoires en position initiale sont *graduelles*. Il n'est pas possible d'associer, à chaque frontière prosodique, un degré de contact linguopalatal ou une valeur de débit nasal particulière. La distinction entre les différentes frontières se fait sur une dimension articulatoire continue sur laquelle la variation est graduelle.

B.1. Un mécanisme actif ou une conséquence indirecte de la pause ou du contour intonatif ?

Si les variations articulatoires sont des marques de frontière prosodique à part entière, cela suppose que ce phénomène est un processus actif pour marquer le début d'un nouveau constituant. Il faut donc vérifier que les variations articulatoires observées ne sont pas qu'un effet secondaire d'autres variations associées aux frontières, comme la pause ou le contour intonatif.

B1.a. Présence ou absence de pause.

Dans mon corpus, les seules positions précédées d'une pause sont les débuts de Groupe Intonatif et les débuts de Phrase. Or, les variations articulatoires n'apparaissent pas que dans ces positions. J'observe des distinctions entre les positions début de Groupe Accentuel, début de Mot et début de Syllabe qui ne sont pas précédées de pause. La présence d'une pause n'est donc pas le seul facteur conditionnant l'apparition de ces variations articulatoires.

Les résultats obtenus dans l'expérience de débit nasal pour /n/ ne réfutent pas complètement l'influence de la présence d'une pause, car seule la position précédée d'une pause (GI) se distingue régulièrement des positions

inférieures non précédées de pause (Si, Mi, GAi). Toutefois, la pause seule ne peut pas expliquer toutes les variations car j'observe quelques fois des distinctions entre positions inférieures (Si vs. Mi-GAi pour /ini/ de 2M, Mi vs. GAi pour /ana/ du corpus n°2 de 1F). Pourtant, il est possible que le changement des conditions aérodynamiques générales lié à la pause favorise la variation de débit nasal en position GIi. Nous avons vu d'autre part, à partir des données EPG, que la pause peut être articulée (chap. III I.A3). Cette articulation peut correspondre à un "speech ready gesture" ou à une anticipation de l'articulation linguale des consonnes initiales pendant la pause qui peuvent influencer les variations articulatoires dans ces positions [p. ex. Vaissière 1986b].

Dans le cas des variations glottales des voyelles initiales, la présence d'une pause n'est pas le facteur responsable de la glottalisation. Dans mon étude, comme dans l'étude de Dilley et al. (1996), j'observe que la glottalisation des voyelles en début de constituant supérieur n'est pas la conséquence de la reprise de voisement après la pause puisque la glottalisation apparaît en position GAi où la voyelle n'est pas précédée d'une pause (ce que j'ai vérifié avec attention).

Byrd et Saltzman (1996, 1998) observent également que les variations spatio-temporelles des gestes de la langue et des lèvres en fonction de la position prosodique sont indépendantes de la présence d'une pause puisque leurs constituants ne sont jamais séparés par une pause.

B1.b. Contour de f0 :

Les variations articulatoires en début de constituant pourraient être la conséquence de deux différences de f0 : la hauteur de f0 et le type de ton sur (1) le segment précédent et/ou sur (2) le segment initial étudié.

(1) Les caractéristiques mélodiques du constituant précédant le segment test sont variables puisqu'elles sont un des critères de définition des positions prosodiques. Les positions Pi, GIi et GAi sont précédées d'une syllabe accentuée (accent final). Les positions Si et Mi ne sont pas précédées d'un accent final. La présence-absence de cet accent final ne semble donc pas être le facteur déterminant les variations puisqu'elles apparaissent entre les positions GIi et GAi (ou Mi et Si) qui sont dans les mêmes conditions.

Les positions prosodiques examinées se distinguent aussi par la hauteur de f0 sur la syllabe finale précédente. En position Pi les segments sont précédés d'un ton de frontière majeure bas, en GIi d'un ton de frontière majeure bas ou haut, en GAi d'un ton de frontière mineure haut, en Mi d'un ton non démarcatif bas ou d'un ton haut marquant l'accent initial, en Si d'un ton non démarcatif bas. Si on considère les positions Pi-GIi (précédées d'un ton bas), elles se distinguent de la position Si qui est aussi précédée d'un ton bas et de la position GAi qui est précédée d'un ton haut. L'apparition des variations articulatoires ne semble donc pas déterminée par la hauteur du ton précédent. Toutefois, l'amplitude des variations articulatoires en début de constituant peut être affectée par la hauteur du ton. Par exemple, le locuteur 4F de l'expérience de débit nasal a un comportement différent des autres locuteurs en ce qui concerne les variations de débit nasal. Pour ce locuteur, en position GIi le débit nasal pour /n/ augmente (contexte /i_i/) ou reste stable (contexte /a_a/) alors qu'il diminue pour tous les autres locuteurs. L'examen des particularités de 4F montre qu'elle était le locuteur le moins à l'aise lors des enregistrements et elle a lu les phrases de façon monotone avec des contours de f0 très plats. D'autre part, c'est le seul locuteur à avoir marqué régulièrement la fin d'un GI par une montée de continuation majeure (et non une descente finale de f0 avant la pause). Il est possible que l'augmentation de débit après la pause en GIi pour la suite /a#na/ soit la conséquence d'une augmentation de débit d'air transglottal associée à la montée de f0 pour la continuation majeure. Cependant, en position GAi (où tous les locuteurs produisent une montée de continuation mineure avant le segment test) la montée de f0 ne semble pas affecter le débit d'air nasal (par rapport à la position Mi, par exemple). De plus, cette explication n'est pas valable pour la production de la séquence /i#ni/ (aussi précédée d'un ton frontière haut) pour ce locuteur 4F.

En position Mi, je n'ai pas comparé les différences entre les cas où le segment test est précédé d'un accent initial (Hi) sur la syllabe précédente et les cas où il ne l'est pas. Si cela a un effet (suggéré par Shattuck-Hufnagel, comm. pers.) il est possible que la variabilité de cette position, entre locuteurs et entre segments⁵¹, puisse être expliquée.

⁵¹ Voir par exemple la différence entre les locuteurs 1F et 2M pour la distinction Si-Mi-GAi des consonnes /t/ et /n/.

(2) La présence d'un accent *sur* le segment test pourrait aussi interagir avec les variations articulatoires en position initiale. Ceci a été observé en anglais [Pierrehumbert & Talkin 1992, Keating 1995, 1997, Gordon 1996, Dilley et al. 1996]. Marchal (1979, 1984) a aussi montré que la présence d'un accent en français peut interférer avec les différences de force intrinsèques entre les segments et modifier l'ordre de l'échelle de force. Dans mon étude, j'ai vérifié sur l'échantillon du corpus transcrit (plus de la moitié des phrases, cf. Méthode I.B), que le segment initial testé ne porte pas d'accent initial. Dans ces phrases, ce segment est toujours dans une syllabe portant un ton bas. Pour le reste du corpus non transcrit, je ne peux affirmer qu'il n'y a jamais d'accent initial sur le segment test. Toutefois, même si certains segments initiaux ont été réalisés avec un accent initial, la présence de cet accent ne peut expliquer à lui seul les variations. En effet, j'observe le même type de variation entre la partie du corpus transcrit et la partie non transcrite. Il serait intéressant d'évaluer l'interaction de l'accent initial avec les variations articulatoires aux frontières, ces deux indices pourraient se renforcer ou se compenser.

B.2. Un mécanisme actif mais des variations pas forcément intentionnelles ?

Il apparaît que les variations articulatoires en début de constituant prosodique ne peuvent être réduites qu'à une conséquence indirecte des différences de pause ou de contour intonatif liés aux frontières. Je propose donc de considérer le marquage articulatoire des frontières *comme un processus actif qui reflète l'encodage de la structuration prosodique d'un énoncé au niveau de la planification de la parole*.

Lors de l'encodage, la position initiale dans un constituant, tout comme la position sous l'accent et probablement aussi la position finale, serait spécifiée comme une position particulière dans la structure prosodique de la phrase. Les variations qui y sont réalisées sont une marque articulatoire de cette structuration. Le niveau prosodique du constituant, ou de la frontière, est aussi spécifié lors de l'encodage prosodique. Les variations articulatoires graduelles et progressives marquant le début d'un constituant seront donc fonction de son niveau prosodique.

Par contre, je ne suis pas certaine que les variations articulatoires particulières que j'ai observées en début de constituant soient intentionnelles. Le locuteur ne cherche peut-être pas à produire telle ou telle variation spécifique pour marquer le début de tel ou tel constituant. Ces variations peuvent être la conséquence d'une modification physiologique spécifique à cette position initiale. Nous verrons que cette modification physiologique peut être un renforcement articulatoire local en début de constituant (voir section II).

I.C. Le marquage articulatoire des débuts de constituants : un phénomène optionnel

Les positions prosodiques examinées dans cette étude ne sont pas toujours toutes marquées par une variation articulatoire. Le nombre et la nature des positions qui se distinguent varient en fonction des articulateurs, des segments et des locuteurs observés.

Lehiste (1964) observe aussi que les variations allophoniques positionnelles en anglais ne sont pas toujours présentes dans le signal de parole. Ces indices de segmentation sont optionnels et leur apparition peut dépendre du style de parole ("a maximally differentiated style"). Ici, j'ai porté mes observations sur de la parole lue de laboratoire. Le mode de présentation des phrases cherchait à inciter les locuteurs à maximiser les différences de structure prosodique entre les phrases. Les variations articulatoires observées ont donc pu être favorisées par ce style de parole. Mais d'un autre côté, dans ces phrases, la structure syntaxique, les indices suprasegmentaux tels que la pause, l'allongement final ou le contour intonatif permettent aussi de marquer les différences de structuration prosodique entre les phrases. La présence de ces indices a donc pu minimiser l'apparition des variations articulatoires positionnelles puisque leur fonction était redondante. Pour mieux comprendre les conditions d'apparition des variations articulatoires positionnelles, il serait nécessaire maintenant d'étudier ce phénomène en parole continue spontanée. En effet en parole spontanée, les contraintes de production peuvent mettre en valeur certains indices et en minimiser d'autres [voir Lucci 1983, p. ex.].

La position initiale dans un constituant prosodique apparaît alors comme un site qui *peut être marqué* par des variations articulatoires particulières. Tout comme la position finale ou la position sous l'accent sont marquées par des indices prosodiques temporels ou intonatifs suprasyllabiques, la position initiale peut être marquée par des variations articulatoires. Mais dans ce site, le marquage articulatoire est *optionnel*, c'est à dire qu'il n'est pas toujours implémenté ou il ne fait pas toujours surface, il n'est pas obligatoire.

L'optionnalité du phénomène observé ne réduit pas son intérêt. Que ces variations articulatoires apparaissent chaque fois en début de constituant, ou qu'une frontière gauche soit implémentée à chaque fois, n'est pas la question essentielle. Ce qui est important, c'est que *dans certains cas, à certaines positions, ces variations articulatoires apparaissent et que dans d'autres elles n'apparaissent pas*. Comme le note Danes dans son commentaire sur les résultats de Lehiste :

"It may be said that such a potentiality of language phenomena (to use Mathesius' expression) belongs to the set of general characteristic features of human language" (Danes, commentaires sur l'article de Lehiste 1964 : 200)

C'est alors la possibilité vs. l'impossibilité d'implémentation d'un phénomène qui fait la différence entre les positions. Prenons l'exemple de la liaison facultative en français. Cette liaison peut apparaître à certaines positions mais pas à d'autres. Il n'est pas nécessaire que la liaison soit toujours réalisée pour distinguer ces deux positions. Celles-ci se distinguent par le fait que dans l'une la liaison est possible, dans l'autre la liaison est impossible. Dans mon étude, la position initiale dans des constituants prosodiques de différents niveaux apparaît donc comme un site dans lequel les variations articulatoires *peuvent être* réalisées.

C.1. Quelles sont, dans mon étude, les positions prosodiques qui se distinguent par des variations articulatoires ?

Troubetzkoy (1949) note que les indices prosodiques de segmentation prosodique n'apparaissent pas à toutes les frontières :

"[...] Si chaque langue possède certains procédés phonologiques spéciaux qui signalent l'existence ou la non-existence d'une limite de morphème, de mot ou de phrase, (...) ces procédés en tant que tels ne sont que des procédés de secours. Ils peuvent être comparés aux signaux de circulation dans les rues. [...] Ils ne se trouvent pas à tous les coins de rue, mais seulement à quelques uns. De même les procédés linguistiques de délimitation n'apparaissent pas d'habitude à toutes les places en question, mais seulement de-ci de-là. La différence consiste seulement en ce que les signaux de circulation existent toujours aux croisements "particulièrement dangereux", tandis que la répartition des procédés de délimitation dans la plupart des langues est, semble-t-il, tout à fait fortuite (...)" [Troubetzkoy 1949 : 290-291]

Je ne pense pas que l'apparition des marques articulatoires de segmentation observées soit si "fortuite", *elle peut être optionnelle mais elle est prévisible* : certaines positions initiales ont un poids prosodique plus fort que d'autres. C'est le cas des positions initiales dans des constituants supérieurs qui sont à une frontière prosodique plus importante. Ce sera dans ces positions que le marquage articulatoire du début de constituant sera le plus fréquent.

Mes résultats confirment ce fait. La distinction la plus fréquente apparaît entre un niveau supérieur (GAi et/ou GIi) et un niveau inférieur (Si et/ou Mi) . Le tableau VI.1 récapitule pour chaque expérience le nombre et la nature des positions prosodiques distinguées et le tableau VI.2 montre les comparaisons permettant de distinguer les positions. Sur les 27 comparaisons montrant un effet de la position prosodique, 26 cas (96%) présentent une distinction entre les niveaux extrêmes : supérieur (GIi) vs. inférieurs (Si-Mi). La distinction entre la position prosodique intermédiaire et les autres positions est variable. Trois cas de figures apparaissent :

- soit la position GAi est distincte des positions les plus basses (Si et/ou Mi) et de la position la plus haute (GIi). Il y a alors une distinction sur 3 niveaux (Si-Mi vs. GAi vs. GIi). C'est le cas de 9 comparaisons sur 27 (33%).

- soit la position GAi se comporte comme la position supérieure (Gli) et se distingue des positions inférieures (Si-Mi). Il y a alors une distinction sur deux niveaux, un niveau lexical (Si-Mi) et un niveau supra-lexical (GAi-Gli). C'est le cas de 7 comparaisons sur 27 (26%).
- soit la position GAi se comporte comme les positions inférieures (Si-Mi) et se distingue de la position supérieure (Gli). La distinction se fait alors sur deux niveaux : Gli et les niveaux inférieurs. C'est le cas de 9 comparaisons sur 27 (33%).

Tableau VI.1 : Récapitulatif des positions prosodiques distinguées par une variation articulatoire pour quelques une des mesures étudiées. Le premier tableau présente les résultats de l'expérience EPG, le deuxième les résultats de l'expérience de débit d'air. En grisé sont indiqués les cas où l'ensemble des distinctions effectuées se retrouve chez au moins deux locuteurs. Ce résumé n'inclue pas les résultats pour la distribution du contact pour les occlusives, les caractéristiques du chenal fricatif, ou la latéralité de /l/.

EPG	Locuteur 1F	Locuteur 2M
/n/ %	Si < Mi < GAi < Gli-Pi	Si < Mi < GAi < Gli-Pi
/t/ %	Si < GAi < Gli-Pi	Si-Mi < GAi < Pi < Gli
/k/ %	Mi < GAi < Gli	Mi-GAi < Gli
/s/ %	Mi-GAi < Gli-Pi-Si	Mi < GAi -Gli-Pi ; Si < GAi-Pi
/l/ %	Si < Mi < GAi-Gli	Si < Mi < GAi-Gli
/i/ %	Mi < GAi-Gli	Mi < GAi-Gli
F2	∅	Mi < GAi-Gli
F3	Mi < GAi < Gli	Mi < GAi < Gli
glottalisation	Mi < GAi < Gli	Mi < Gli < GAi

= 9 comparaisons * 2 locuteurs

Débit	Locuteur 1F	Locuteur 2M	Locuteur 3F	Locuteur 4F
/ana/	Si-Mi-GAi > Gli	Si-Mi-GAi > Gli	Mi-GAi > Gli	Si-Mi-GAi < Gli
/ini/	Si-Mi-GAi > Gli	Si > Mi-GAi > Gli	Si-Mi-GAi > Gli	(GAi < Gli)
/A\$/	∅	Mi > GAi-Gli	Mi > GAi > Gli	∅

= 3 comparaisons * 4 locuteurs

Tableau VI.2 : Types de distinction faites entre les positions prosodiques par des variations articulatoires. Dans la seconde colonne sont indiqués les paramètres de comparaison permettant la distinction en question. Lorsque le locuteur n'est pas spécifié dans cette colonne, cela signifie que tous les locuteurs font la distinction. 18 comparaisons sont effectuées pour l'expérience EPG (9 mesures * 2 locuteurs) et 12 comparaisons pour l'expérience de débit nasal (3 mesures * 4 locuteurs) (cf tableau VI.1). Soit un total de 30 comparaisons.

Types de distinctions entre positions	Comparaisons	total
pas d'effet de la position prosodique	débit /A\$/ de 1F et 4F; F2 /i/ de 1F	3/30 (10%)
distinctions entre positions extrêmes (Si-Mi vs. Gli)	epg /n/, /t/, /k/, /l/, /i/; F3 /i/; glot./i/; débit /ana/; F2 /i/ de 2M; débit /ini/ sauf 4F; débit /A\$/ de 2M et 3F epg /s/ seulement Mi vs. Gli (Si =Gli)	26/27 (96%)
GAi distincte de Si-Mi et de Gli (Si-Mi vs. GAi vs. Gli)	epg /n/, /t/, /k/ de 1F; glot. /i/ de 1F; débit /A\$/ de 3F	9/27 (33%)
GAi distincte de Si-Mi mais pas de Gli (Si-Mi vs. GAi-Gli)	epg /l/, /i/, /s/ de 2M, /ã/ de 2M; F2 /i/ de 2M	7/27 (26%)
GAi distincte de Gli mais pas de Si-Mi (Si-Mi-GAi vs. Gli)	epg /k/ de 2M, /s/ de 1F; débit /ana/, débit /ini/ sauf 4F	9/27 (33%)
distinction entre Si et Mi (sur 16 comparaisons)	epg /n/, /l/; débit /ini/ de 2M /s/ de 1F (avec Si > Mi)	6/16 (38%)
distinction entre Gli et Pi (sur 6 comparaisons)	epg /t/ de 2M (avec Gli > Pi)	1/6 (17%)

En résumé, sur les cinq positions prosodiques examinées, le marquage articulatoire considéré apparaît plus fréquemment en position initiale dans un constituant supérieur (GI ou Pi) de façon à distinguer cette position du début d'un constituant inférieur (Si ou Mi). La délimitation du constituant intermédiaire (GAi) est moins fréquente. Cette position intermédiaire est soit marquée comme telle (distinction sur 3 niveaux), soit est associée aux positions inférieures ou aux positions supérieures (distinctions sur deux niveaux). Ces trois cas apparaissent dans des proportions similaires (environ 30 %). La délimitation de 4 niveaux prosodiques (sur ceux examinés) n'apparaît que dans un cas : par le degré de contact linguopalatal de /n/ pour les deux locuteurs.

C.2. Comparaison avec les positions prosodiques distinguées par des variations articulatoires dans la littérature

Il n'est pas facile de comparer les types de constituants prosodiques utilisés dans des travaux portant sur plusieurs langues. En effet, le nombre et la nature des constituants prosodiques peuvent varier suivant les langues. Il semble donc plus facile de comparer les études en termes de "niveaux" distingués sur le nombre total de niveaux étudiés. Le tableau VI.3 présente une comparaison entre les résultats obtenus dans mon étude et ceux des quelques études comparant plusieurs niveaux de constituants. Le détail des résultats cités est donné en introduction (section II.B2).

Tableau VI.3 : Comparaison du nombre de constituants distingués par des variations articulatoires en position initiale dans cette thèse et dans les quelques études examinant plusieurs niveaux de constituants. Nombre de niveaux prosodiques distingués sur le nombre de niveaux étudiés. Dans la dernière colonne, sont listés les constituants étudiés (E = Enoncé, GI = Groupe Intonatif, GA = Groupe Accentuel, SP = Syntagme Phonologique, Glint = Groupe Intonatif Intermédiaire, M = Mot, S = Syllabe).

Etudes	Langue	Segments	Niveaux distingués	Types de constituants étudiés
Articulation linguale :				
Fougeron & Keating (1997)	anglais	/n/	3-4 / 5	E, GI, SP, M, S
Byrd & al. (1996)	anglais	/n/	2 / 3	large Phrase, small phrase, word
Hsu & Jun (1997)	taiwanais	/t/	2-3 / 3	GI, M, S
Cho (1998)	coréen	/n, t/	4-5 / 5	U, GI, GA, M, S
dans cette thèse	français	/n, t/	3-4 / 5	P, GI, GA, M, S
Articulation nasale :				
Gordon (1996)	estonien	/n/	2-3 / 4	E, GI, M, S
dans cette thèse	français	/n/ /A\$/	2-3 / 4 0-2-3 / 3	GI, GA, M, S GI, GA, M
Articulation glottale :				
VOT				
Pierrehumbert & Talkin (1992)	anglais	/t ^h /	2 / 2	GI, M
Jun (1993)	coréen	/p ^h /	3 / 3	GA, M, S
Hsu & Jun (1997)	taiwanais	/k ^h , /b/ /t/	3 / 3 0 / 3	GI, M, S
Cho (1998)	coréen	/t/	4 / 4	U, GI, GA, M
dans cette thèse	français	/t/ /k/	0-2 / 5 0 / 3	P, GI, GA, M, S GI, GA, M
glottalisation				
Pierrehumbert & Talkin (1992)	anglais	/O/ (variable)	2 / 2	GI, M
Dilley et al. (1996)	anglais	(variable)	2-3 / 3	GI, GIint., M

dans cette thèse	français	/i/	2-3 / 3	GI, GA, M
------------------	----------	-----	---------	-----------

- Pour l'articulation linguale, il ressort que les variations en fonction de la position prosodique se font sur au moins deux niveaux. Pour les occlusives (qui sont les segments généralement étudiés), mes résultats en français sont comparables à ceux que nous avons obtenus en anglais [Fougeron & Keating 1997]. Les variations de contact linguopalatal se font dans les deux langues sur 3 ou 4 niveaux sur les 5 étudiés, en fonction des locuteurs. Ceux-ci distinguent au moins un niveau de constituant inférieur (S, M) et un niveau supérieur (GI, P ou É). La position intermédiaire (GA en français, PP en anglais) est soit intermédiaire entre ces deux niveaux, soit similaire au niveau inférieur, soit similaire au niveau supérieur. Le début de Mot présente aussi un comportement variable en fonction du locuteur.

- Pour la durée du VOT, j'observe en français moins de variation que celles montrées dans les autres langues. Dans mon étude, le VOT de /t/ présente quelques variations en fonction de la position prosodique, mais seul un locuteur distingue nettement 2 niveaux sur 5. Le VOT de /k/ n'est pas affecté. Cette différence entre le français et les autres langues ne peut pas s'expliquer par une différence entre consonnes aspirées et non-aspirées puisqu'en coréen il y a une différence pour les consonnes aspirées [Jun 1993] et non aspirées [Cho 1998] et en taiwanais il y a une différence pour les consonnes aspirées mais pas pour les non aspirées [Hsu & Jun 1997]. L'effet de la position prosodique sur le VOT semble donc varier suivant les langues et peut-être suivant leur utilisation du VOT comme trait distinctif.

- Pour les variations glottales des voyelles initiales, j'observe en français le même effet de la position prosodique sur l'apparition de la glottalisation qu'en anglais. Les voyelles en début de constituant supérieur (GA et GI) sont plus fréquemment glottalisées qu'en début de Mot où les voyelles ne sont jamais glottalisées dans mes données. Par contre la distinction entre les deux niveaux supérieurs, où la glottalisation est possible, est plus variable. Le locuteur 1F fait une distinction sur trois niveaux avec une augmentation progressive de la fréquence de glottalisation (Mi < GAi < GIi). Le locuteur 2M fait aussi une distinction sur trois niveaux, mais pour lui c'est en position GAi que les voyelles sont le plus souvent glottalisées (Mi < GIi < GAi). En anglais, Dilley et al. (1996) observent aussi que la distinction entre les deux niveaux prosodiques supérieurs au Mot est variable. Dans leur étude, cette variation est due principalement à la présence de l'accent lexical (et non seulement au locuteur). La distinction sur les 3 niveaux (GIi > GI interm. > Mi) n'apparaît que pour les voyelles portant l'accent lexical.

- Pour l'articulation nasale, j'observe en français un peu moins de variation de débit nasal que Gordon (1996) n'en a observée en estonien. En général, j'obtiens pour /n/ une distinction entre 2 des 4 niveaux étudiés (GI vs. positions inférieures). Un niveau supplémentaire apparaît parfois (Si > Mi-GAi > GIi pour /ini/ de 2M (corpus n°1) ou Mi > GAi > GIi pour /ana/ de 1F (corpus n°2)). Pour /A\$/ , 0, 2 ou 3 niveaux se distinguent sur les 3 étudiés, en fonction du locuteur. Gordon observe plus systématiquement une variation entre Si, Mi et GIi, mais n'étudie pas de niveau intermédiaire entre Mi et GIi.

Il ressort de ces comparaisons que plusieurs positions peuvent se distinguer par des variations articulatoires dans les langues. Mais, ces variations ne marquent pas toujours toutes les positions étudiées. *L'optionnalité du phénomène apparaît donc aussi dans d'autres langues que le français.* Cependant, les variations articulatoires distinguent toujours au moins un constituant inférieur d'un constituant supérieur et le marquage articulatoire peut être prédit à partir du poids de la frontière prosodique.

Un autre point commun à toutes ces études apparaît : *le marquage des positions prosodiques varie en fonction des locuteurs.* Dans mon étude, cette variation entre locuteurs est apparue plusieurs fois, que ce soit dans l'expérience EPG ou celle de débit d'air. Sur les données du tableau VI.1 par exemple, seules 12 comparaisons sur 30 présentent exactement les mêmes distinctions pour au moins deux locuteurs (8 sur 18 pour l'expérience EPG ; 4 sur 12 pour l'expérience de débit). Ces comparaisons sont indiquées en grisé dans le tableau. Pour les autres comparaisons, la tendance est toujours la même, mais le nombre et la nature des positions distinguées varient. Dilley et al. (1996) remarquent aussi une variation entre les locuteurs dans la fréquence d'apparition de la glottalisation des voyelles initiales, dans ses manifestations acoustiques et dans son conditionnement par la position prosodique. Ils font l'hypothèse que :

"...glottalization is one of a collection of strategies that speakers use to mark prosodic events, which together are rule-governed but which may individually vary with importance across speakers." [Dilley et al. 1996 : 442]

Cette suggestion semble aussi valable en français pour la glottalisation ainsi que pour les autres variations articulatoires : *le marquage articulatoire des frontières est un phénomène optionnel, il est fonction du locuteur, mais il n'est pas aléatoire : il suit la hiérarchie des frontières prosodiques.*

C.3. Notes sur les différences entre les langues et l'universalité du phénomène

Lehiste (1964) a comparé le marquage des frontières dans plusieurs langues (finnois, tchèque, serbocroate). Elle montre que plusieurs types de modifications peuvent marquer les frontières (type phonatoire, coarticulation, articulation, indices suprasegmentaux). Il n'y a pas *un* indice unique mais plusieurs dont l'utilisation varie suivant les langues. Elle pense que la manière de marquer les frontières dans les langues est fonction du nombre de paramètres utilisables dans la langue. Par exemple, une variation de durée ne sera pas forcément associée au marquage des frontières dans une langue utilisant la quantité vocalique comme un trait segmental distinctif. Ainsi, la manière dont une langue marque les frontières doit être incluse dans sa description phonologique :

"The manifestation of boundaries constitutes a part of the phonological structure of every language, and languages may differ in this respect as in other aspects of their structure" [Lehiste 1964, p.200]

Le marquage de plusieurs frontières prosodiques par des variations articulatoires existe dans plusieurs langues, toutes très différentes (français, anglais, coréen, tamil, taiwanais, estonien). L'état des connaissances n'est pas suffisant pour tirer des conclusions sur les conditions d'apparition de ces variations articulatoires aux frontières en fonction de la langue. Dans les études publiées, les auteurs ne comparent pas tous les mêmes segments, les mêmes articulateurs, les mêmes types de constituants, et tous n'étudient pas plusieurs niveaux prosodiques.

D'après ses observations, Lehiste (1964) distingue plusieurs types de langues en fonction de leur utilisation des signaux de frontières :

- les langues qui utilisent des signaux de frontières de nature segmentale (coup de glotte, allophones), le tchèque p. ex.
- les langues pour qui le marquage des frontières se fait par des indices suprasegmentaux (durée, f0...), le serbocroate p. ex. Ces langues ont un système de traits suprasegmentaux suffisamment développé pour délimiter les différents constituants sans avoir besoin de les séparer par des segments frontières ("boundary segment", un coup de glotte p. ex.).
- les langues qui font appel aux deux types de paramètres (segmentaux et suprasegmentaux) pour marquer les frontières (p. ex. le finnois).

Le français peut être classé dans cette dernière catégorie. Les frontières entre constituants sont marquées principalement par des variations suprasegmentales (f0, durée, pause). Mais, comme nos résultats le montrent, ces frontières peuvent aussi s'accompagner de variations articulatoires segmentales et de "segments frontières" comme un coup de glotte pour les voyelles initiales de constituant supérieur.

Comme nous l'avons vu plus haut, les variations d'articulation linguale en français et en anglais sont fort semblables. L'hypothèse selon laquelle le marquage des frontières pourrait être plus important dans une langue "à démarcation" ("boundary language") comme le français que dans une langue à "proéminence" comme l'anglais ne semble donc pas confirmée en ce qui concerne les variations articulatoires en début de constituants. Pour pouvoir aller plus loin dans les comparaisons, il serait nécessaire d'étudier l'effet de la position prosodique sur d'autres segments et d'autres articulateurs en anglais (et sur de la parole non réitérée, voir Keating 1995, 1997).

C.4. Notes sur la distinction entre début de Mot et début de Syllabe

Le français est souvent pris en exemple comme une langue dans laquelle le "Mot" n'est pas une unité phonétique. Ses frontières sont rarement délimitées phonétiquement et il semble perdre son autonomie dans un constituant

supérieur [Grammont 1933, Martinet 1955, Delattre 1940b, 1965, Malmberg 1971]. Par exemple, lorsqu'il est placé dans un groupe, le mot perd son accent final au profit de celui du groupe. D'autre part, la syllabification en français se fait aux travers des frontières lexicales par les processus d'enchaînement ou de liaison. Ainsi, en français les phénomènes de jonctures internes (de mot ou de morphème) sont moins fréquents qu'en anglais ou en allemand par exemple. Delattre (1965) donne l'exemple de l'absence de joncture dans une suite "d'une autre" (vs. "du nôtre") ou "un invalide" (vs. "un nain valide") en français, qu'il compare à la présence de joncture dans les suites "an aim" (vs. "a name") en anglais ou "zum einen" (vs. "zu meinen") en allemand.

En conséquence, le mot en français a été défini comme une unité de contenu (Malmberg 1971), une unité logique ou grammaticale (Grammont 1933) mais pas comme une unité phonétique.

Lorsque je compare la position Mi à la position Si, mes résultats permettent de penser que le Mot peut être délimité phonétiquement par des variations articulatoires sur sa frontière initiale. Néanmoins, le marquage du début de Mot est peu fréquent. Dans mon corpus, seules 16 comparaisons testent si les positions Mi et Si sont différentes⁵². Sur ces 16 comparaisons, 5 cas présentent une différence entre position Si et position Mi (38%) (voir tableau VI.2). Pour une des comparaisons (/s/ de 1F), il y a une différence entre ces positions mais qui ne suit pas la tendance générale (Si a plus de contact que Mi).

Dans les autres langues, le marquage articulatoire des frontières de mots n'est pas non plus toujours apparent. Comme je l'ai noté en introduction, l'effet de la position dans des constituants inférieurs comme le Mot ou la Syllabe, a été le plus souvent étudié dans des comparaisons entre l'articulation des segments initiaux (d'attaque) et des segments finaux (coda). Il y a peu de comparaisons entre position initiale dans une Syllabe et position initiale au début d'un Mot. De plus, lorsqu'une telle comparaison est effectuée, il n'est pas sûr que la position "début de Mot" ne soit pas aussi le début d'un constituant supérieur. En effet, les Mots étudiés sont souvent produits en isolé et forment donc un Groupe Intonatif. S'ils ne sont pas isolés, ils sont placés dans une phrase cadre et il n'est pas possible de savoir quel type de frontière précède le mot clef sans que l'auteur décrive la structure prosodique de la séquence. Par exemple, dans une phrase cadre du type "j'épelle X deux fois", les locuteurs peuvent placer une frontière de Groupe Accentuel ou même une frontière de Groupe Intonatif avec une pause devant "X" (p. ex. [j'épelle]#[X]#[deux fois]). Cooper (1991), qui montre une différence dans l'amplitude de l'ouverture glottale entre début de Mot et début de Syllabe (interne au Mot), utilise ce type de phrase ("say ___ again"). Il est donc possible que la position Mi soit en fait une position supérieure.

Les séquences utilisées par Krakow (1989) ne posent pas ce problème car elles ont sûrement été produites avec un contour intonatif similaire. L'auteur compare la consonne /m/ en position initiale de Mot et en position initiale de Syllabe dans des suites du style "hoe me" (Mi) vs. "homey" (Si). Elle remarque que les caractéristiques de l'articulation labiale et nasale de la consonne en début de Syllabe sont les mêmes que celles en début de Mot et que celles-ci distinguent ces deux positions à la position finale ("home E"). Ces résultats montrent que la frontière de Mot n'est pas différente de la frontière de Syllabe en anglais. Les séquences utilisées par Krakow (1989) ne posent pas ce problème car elles ont sûrement été produites avec un contour intonatif similaire.

Pourtant dans son étude, il est possible que la position Mi ne se distingue pas de la position Si, car le mot utilisé est un monosyllabique ("me"). Le /m/ est en position initiale de Mot et de Syllabe, mais il est aussi dans la Syllabe finale (initiale et finale puisque unique) du Mot. Or, la syllabe finale a aussi un statut particulier. Elle peut être allongée et peut porter le ton frontière du contour intonatif. Il n'est pas certain que cela ait eu une influence sur les résultats, mais c'est une possibilité. De plus, dans le cas de "homey", le /m/ est ambisyllabique ce qui met en doute son statut de Si. Pour éviter ces problèmes, j'ai comparé les positions Si et Mi dans des mots pluri-syllabiques. Par contre, mon corpus présente un autre inconvénient que j'ai noté dans le chapitre Méthode : la consonne en position initiale dans une Syllabe est aussi la première consonne du mot (ex. Annabelle). Cette consonne semble avoir un statut particulier en français : elle affecte le placement de l'accent initial, elle peut porter l'effet d'insistance (ex. "c'est épppouvantable"^o [Vaissière 1989, comm. pers.]). Cet effet aurait pu être contrôlé en comparant la position Si dans une séquence du type "Lannabelle", p. ex.

⁵² Pour les corpus avec /n/, /t/, /l/, /s/ de l'expérience EPG * 2 locuteurs, et corpus /ana/ et /ini/ de l'expérience de débit * 4 locuteurs.

C.5. Notes sur la position Pi

A partir de 6 corpora⁵³, j'ai comparé les positions GIi et Pi. J'observe que pour ces deux positions les segments ont le plus souvent les mêmes caractéristiques articulatoires (voir tableau VI.2). Aucun cas ne montre que les segments en position Pi ont un contact linguopalatal plus important qu'en position GIi. La seule différence observée est faite par le locuteur 2M pour /t/ et la variation ne suit pas la tendance attendue (Pi a moins de contact que GIi)⁵⁴.

Ces résultats laissent à penser que le début du constituant "Phrase" ne se distingue pas sur le plan articulatoire du début du constituant "Groupe Intonatif". En fait, il soulève la question de savoir si le constituant que j'ai appelé "Phrase" jusqu'ici est vraiment un constituant prosodique différent du Groupe Intonatif.

- Nous avons vu dans le chapitre Méthode, que le constituant "Phrase" ne correspond pas à la définition donnée pour le constituant "Énoncé" [Nespor & Vogel 1986] car les deux séquences séparées par le point ("Paul aime Tata." et "Nadia les protège en secret.") sont en relation sémantique et syntaxique étroite. Cette relation est marquée par le pronom "les" dans la deuxième phrase dont le référent est placé dans la première. Le constituant "Phrase" n'est donc pas un "Énoncé".
- Les critères prosodiques d'allongement, de pause et de contour intonatif qui servent à définir le segment initial dans un GI sont similaires à ceux qui définissent le segment initial dans le constituant appelé "Phrase". Ils sont précédés d'un allongement final similaire (voir figure 2.3a). Ils sont tous deux précédés d'une pause. Cette pause avant le segment en position Pi est parfois plus longue que celle précédant la position GIi (figure 2.3b, loc. 2M) mais pas toujours (loc. 1F). Le contour intonatif est souvent le même : les segments en position GIi et Pi sont précédés d'un ton final bas (B%). Seule la ponctuation à l'écrit fait la différence entre ces deux positions : en position Pi le segment est précédé d'un point, en position GIi, d'une virgule.

Dans mon corpus, il apparaît donc que les deux positions GIi et Pi ne se distinguent ni sur les critères prosodiques utilisés, ni par les variations articulatoires observées. Ces deux constituants, définis comme étant des constituants différents au début de cette étude, semble en fait être du même niveau prosodique (GI). Ceci n'exclut pas qu'il peut y avoir en français un constituant supérieur au GI et que celui-ci peut être marqué par des variations articulatoires. Mais mon corpus ne me permet pas de le vérifier. Il faudrait examiner la distinction entre des GI se terminant par un ton final bas, des GI se finissant par une continuation majeure, et même voir des niveaux supérieurs comme l'Énoncé, le paragraphe...

Ces résultats apportent une information qui peut paraître évidente pour celui qui est familier avec la prosodie mais qui est peut être utile au néophyte. Si les marques typographiques (blancs, ponctuation, apostrophe) reflètent fidèlement les frontières de mot dans un énoncé à l'écrit, elles ne permettent pas d'en déduire le découpage en constituants (prosodiques ou syntaxiques) supérieurs. Par exemple, un segment placé après un point (Pi) ou après une virgule (GIi) peut être en fait au début d'un même constituant prosodique : un GI. A l'opposé, un segment placé après une virgule peut être au début de deux constituants différents : un GI ou un GA. Ainsi, si l'on veut contrôler l'effet de la prosodie dans une étude sur l'articulation, il est nécessaire de contrôler la structuration prosodique des énoncés d'après d'autres critères (f0, allongement,...) pour comprendre certaines variations articulatoires.

⁵³ Pour les corpus avec /n/, /t/, /s/ de l'expérience EPG * 2 locuteurs.

⁵⁴ Il y a aussi une différence pour les deux locuteurs sur le F1 de /a/ dans la syllabe /na/ en position GIi et Pi, que je ne peux expliquer.

I.D. Réflexions sur le domaine de réalisation de l'effet de la position prosodique : un effet local

J'ai proposé de considérer la position initiale comme un *site prosodique* dans lequel des variations articulatoires peuvent être réalisées pour marquer le début d'un constituant. En français, la position initiale dans un Mot, un Groupe Accentuel, ou un Groupe Intonatif est aussi une position accentuable. L'accent initial peut y être réalisé, mais il est facultatif comme les variations articulatoires que j'observe. L'accent initial est considéré par certains comme un accent démarcatif marquant la frontière gauche du constituant (la frontière de mot et de GI pour Rossi 1985 ou Vaissière 1989 la frontière de GA pour Jun & Fougeron 1995). La position initiale dans un constituant apparaît alors comme le domaine où peut être réalisé le marquage des frontières sur le plan articulatoire et sur le plan mélodique (accent initial).

Il existe pourtant une différence entre ces deux indices prosodiques de frontière : l'accent initial ne semble pas attaché à une syllabe particulière, il peut se réaliser sur une des trois premières syllabes du constituant [Jun & Fougeron 1995, Hirst & Di Cristo 1996]. Par contre, les variations articulatoires observées ont un domaine de réalisation très précis. La position prosodique apparaît comme un *effet local*.

L'examen des deux éléments d'un groupe de consonnes et d'une syllabe CV a montré que l'effet de la position prosodique affecte essentiellement l'élément initial. Le second élément (C2 ou V) n'est pas modifié de façon régulière par la position prosodique du groupe (CC ou CV). Lorsqu'il y a une variation sur le deuxième élément, celle-ci a lieu dans un constituant particulier et elle ne suit pas la hiérarchie des constituants. Ces résultats sont basés sur l'examen d'un groupe consonantique et d'une syllabe particuliers (/kl/ et /na/). Afin de confirmer ces résultats, il sera nécessaire d'examiner d'autres types de syllabes et de groupes de consonnes, par exemple, un groupe de consonnes /pl/⁵⁵ ou une syllabe /pV/ pour lesquels l'articulation labiale du premier élément n'interfère pas avec l'articulation linguale du deuxième élément.

L'aspect local des variations conditionnées par la prosodie apparaît aussi en anglais. Par exemple, la variation allophonique d'aspiration des consonnes sourdes n'affecte une occlusive que lorsqu'elle est initiale absolue (/# t^hV/). Lorsqu'elle est le second membre d'un groupe de consonnes /# sC/ en position initiale, l'occlusive sourde n'est pas aspirée. D'autre part, Byrd et Saltzman (1996, 1998) montrent que les variations articulatoires que subit une consonne en position initiale affecte principalement les caractéristiques cinétiques de son geste de fermeture. Le geste d'ouverture vers la voyelle suivante, lui, n'est pas affecté. L'examen de la glottalisation des voyelles initiales montre aussi que l'effet de la position prosodique est très local. Dans mon étude ou celle de Dilley et al. (1996) sur l'anglais, la voyelle n'est jamais glottalisée sur toute sa durée et lorsqu'elle l'est, cette glottalisation n'affecte jamais plus que sa première moitié. Dans les autres cas, la voyelle est seulement précédée d'un coup de glotte.

Ces résultats me permettent de penser que *le site de la variation n'est pas le segment initial à proprement parler mais la frontière (le bord) gauche du constituant*. L'effet de la position prosodique pourrait alors être défini comme un "edge effect" limité à l'attaque du constituant. Pourtant, la définition du domaine de réalisation des variations conditionnées par la position prosodique nécessite des recherches supplémentaires. En effet, dans mon corpus, je n'ai examiné que des constituants commençant par des mots lexicaux. Pour vérifier si cet effet est associé à la frontière gauche du constituant, il est nécessaire de vérifier qu'il affecte aussi un mot grammatical placé en début de constituant.

D'autre part, le caractère local des variations est peut être mis en doute par des cas où la position prosodique a un effet sur le second membre d'une unité initiale (CC ou CV). Par exemple, dans l'évolution du latin au français, nous avons vu que la syllabe initiale est une position forte pour la voyelle. Dans la syllabe initiale d'un Mot, la voyelle a été maintenue [p.ex. Brunot & Bruneau 1937]. Pour les groupes de consonnes, la résistance caractéristique aux consonnes initiales s'applique généralement aux deux éléments du groupe consonantique.

⁵⁵ Rousselot (1798) montre qu'en parole renforcée (produite avec une intensité plus forte que la normale), le /l/ de la syllabe /pla/ est affecté par la différence d'intensité de la parole et a une surface de contact antérieur plus large (voir sa fig. 645, p.959). Mais l'augmentation de l'intensité se fait sur tout le mot, donc n'est peut-être pas comparable à l'effet frontière étudié ici qui est un effet plus local.

Bourciez et Bourciez (1967) notent que les groupes de consonnes formés d'une gutturale (/k, g/) et d'une vibrante (/l, /r/) sont restés intacts en français lorsqu'ils étaient placés à l'initiale d'un mot (p. ex. : credere>croire, clave>clef). De plus, certains auteurs ont montré que la voyelle d'une syllabe CV peut voir son articulation modifiée en fonction de la position de la syllabe dans le Mot. Par exemple, Farnetani et Vayra (1996) montrent que les voyelles /i, a, u/ en italien sont plus ouvertes (ont moins de contact linguopalatal) lorsqu'elles sont placées dans la syllabe initiale d'un trisyllabique CVCVCV (indépendamment de la position de l'accent).

Ces cas relèvent de la position de l'unité CC ou CV dans le Mot et pas dans un constituant supérieur. Les résultats de van Lieshoul et al. (1995) et Fougeron et Keating (1997), par contre, sont plus problématiques car ils suggèrent un effet global sur l'unité initiale dans des constituants supérieurs au Mot. Van Lieshoul et al. (1995) ne comparent que deux positions : le début et la fin d'un énoncé. Ils montrent en néerlandais que l'activité EMG des lèvres pour une voyelle arrondie dans un mot CVC est plus forte quand le mot est en début d'énoncé. Fougeron et Keating (1997) observent pour un de leurs 3 locuteurs une variation de la voyelle /o/ en fonction de la position de la syllabe initiale /no/ sur différents niveaux prosodiques. Ce locuteur montre une augmentation de l'aperture/postériorité de la voyelle de la syllabe initiale qui suit la hiérarchie des constituants (le contact linguopalatal diminue de la position GIi<Ei<SPi<Mi<Si, loc. 1). Par contre pour les autres locuteurs, les variations ne suivent pas la hiérarchie des constituants (loc.2 : Ei-GIi-Si<SPi ; loc.3 : Ei<Mi<GIi-SPi<Si).

En conclusion, l'effet de la position prosodique a un domaine de réalisation qui n'est pas le segment mais une position particulière dans un constituant. L'étendue de ce domaine de réalisation reste à définir. D'après mes données, il semblerait que cet effet a pour domaine la structure (le contenant) et non le contenu. *Ces variations articulatoires peuvent donc être qualifiées de "suprasegmentales".*

II. NATURE DES VARIATIONS OBSERVEES EN FONCTION DE LA POSITION PROSODIQUE

II.A. Un effet de la position prosodique sur plusieurs types de segments.

Dans ce travail, j'ai étudié l'effet de la position prosodique sur plusieurs types de segments pour observer comment ceux-ci variaient et voir s'ils étaient tous affectés par leur position prosodique.

D'après mes résultats, je peux dire que l'effet de la position prosodique agit sur les quatre grandes classes de segments en français : des occlusives nasales et orales, une liquide, une fricative et des voyelles. Pourtant, ces segments ne sont pas tous affectés de façon égale. Le tableau VI.4 donne le nombre de positions prosodiques distinguées par des variations articulatoires pour chaque segment et par locuteurs. Bien que le nombre de positions observées n'est pas le même pour tous les segments étudiés, la tendance suivante se dégage :

- les occlusives et la liquide varient plus,
- les voyelles varient moins,
- la fricative varie encore moins.

Cependant, il existe des différences entre les segments au sein d'une même classe et entre les locuteurs. Je tenterai d'expliquer ici certaines de ces différences.

Tableau VI.4 : Nombre de positions prosodiques distinguées par des variations articulatoires pour chaque segment étudié et par locuteur sur le nombre total de positions examinées.

	loc. 1F	loc. 2M	loc. 3F	loc. 4F
occlusives :				
/n/ (epg)	4/5	4/5		
/n/ (débit nasal)	2/4	2-3/4	2/4	2/4
/t/ (epg)	3/5	4/5		

/k/ (epg)	3/3	2/3		
liquide :				
/l/ (epg)	3/4	3/4		
fricative :				
/s/ (epg)	2/5	2/5		
voyelles :				
/i/ (epg + glott.)	2/3	2/3		
/ã/ (débit nasal)	0/3	2/3	3/3	0/3

A.1. Différence dans l'effet de la position prosodique entre /t/, /n/ et /l/

Le degré de contact des occlusives antérieures /t/ et /n/ permet de distinguer plusieurs positions prosodiques pour les deux locuteurs. Les deux consonnes présentent une distinction commune entre les positions Si, GAi et Gli. Pour la consonne /t/ le nombre de positions distinguées est moins important : il n'y a pas de distinction entre les positions Si et Mi (pour les deux locuteurs) et entre la position Mi et GAi pour le locuteur 1F. Pour expliquer ce phénomène, il faut considérer que les consonnes diffèrent selon deux paramètres :

- Premièrement, les deux consonnes ne sont pas dans le même contexte vocalique. Le contexte /O\$_O\$/ pour /t/ est plus postérieur et plus fermé que le contexte /a_a/ pour /n/. La masse de la langue peut être plus élevée et plus rétractée pendant le /t/ sous l'influence des voyelles en contexte /O\$_O\$/.
- Deuxièmement, les deux consonnes n'ont pas forcément la même articulation linguale. La consonne sourde /t/ est généralement décrite comme ayant une constriction linguale plus large que la consonne sonore /n/ [p. ex. Straka 1963, Simon 1967], ce qui est attribuée à une différence de force entre sourdes et sonores.

Ces deux différences concourent à augmenter la quantité de contact linguopalatal pour /t/ par rapport à /n/. Ceci apparaît dans mes données lorsque l'on compare le pourcentage de contact total de /t/ et de /n/ sur les figures 3.1 et 3.2, spécialement dans les positions inférieures Si, Mi et GAi. Cette différence apparaît également sur l'étendue de la surface de contact dans la région antérieure des figures 3.6 et 3.7. Dans les positions inférieures, le contact dans la région antérieure est plus large et plus postérieur pour /t/ (voir les différences sur l'arc 1 pour 1F, l'arc 4 en Mi et Si pour 1F, et l'arc 4 en Si, Mi et GAi pour 2M). Ces différences entre /n/ et /t/ apparaissent dans les positions inférieures quand la quantité de contact est moins importante. Dans les positions supérieures par contre, l'occlusion est maximale pour les deux consonnes et leur différence de contact intrinsèque (ou co-intrinsèque) est moins nette.

Ceci laisse à penser qu'il y a un effet de saturation dans la variabilité du contact linguopalatal : pour la consonne /n/ qui a une plage de variation plus grande que celle de /t/, les variations de contact permettent de différencier un nombre plus important de positions prosodiques. Pour la consonne sourde /t/ qui a un contact linguopalatal plus important que /n/, les variations provoquées par les différences de positions prosodiques sont plus restreintes.

La différence entre /l/ et les deux occlusives /t, n/ pourrait être due au même effet de saturation. Pour /l/, le contact antérieur est un peu plus large et plus postérieur. En position GAi, le contact est peut-être déjà maximal, ce qui ne lui permet pas de se différencier de la position Gli. Cependant, puisque les consonnes /l/ et /n, t/ n'ont pas la même articulation (apicale et alvéolaire pour /l/, apico-laminale et dentale pour /t, n/ [Dart 1991]), cette comparaison est difficile.

A.2. Différence dans l'effet de la position prosodique entre les deux locuteurs pour /k/

Le degré de contact linguopalatal de la consonne postérieure /k/, permet de distinguer les trois positions étudiées pour le locuteur 1F, mais ne distingue que deux positions pour le locuteur 2M. Cette différence peut être expliquée par une différence dans la répartition des électrodes sur le palais artificiel, liée aux caractéristiques morphologiques des locuteurs [Hiki & Itoh 1986]. Sur les photos des palais artificiels présentés figure 2.6, on voit que le locuteur 1F a un palais plus étroit et plus voûté que le locuteur 2M. Sur un palais plus étroit, les 96 électrodes sont moins espacées, en particulier sur la zone arrière du palais. Il est possible que les variations de contact lingual à l'arrière du palais (sur les bords latéraux et dans la partie centrale) soient plus visibles pour le locuteur 1F car la disposition des électrodes recouvre particulièrement bien cette zone. Par contre, pour le

locuteur 2M, les 3 rangées centrales d'électrodes de la région postérieure sont plus écartées sur la voûte palatine. Les variations de contact lingual dans cette région peuvent exister, mais le nombre d'électrodes couvrant cette zone est peut être trop faible pour montrer ces différences (ou les rendre significatives). Bien entendu, il peut aussi y avoir une différence entre les locuteurs, indépendante de leur morphologie comme on a pu le voir pour d'autres segments.

A.3. Différence dans l'effet de la position prosodique entre les occlusives et la fricative

L'articulation linguale de la fricative /s/ est moins affectée par la position prosodique que celle des occlusives. Seuls deux niveaux se distinguent et ceux-ci ne sont pas les mêmes pour les deux locuteurs : Mi-GAi<GIi-Pi-Si pour 1F et Mi<GAi-GIi-Pi pour 2M. En commun, il n'y a donc que la distinction entre la position Mi et les positions supérieures GIi-Pi. D'autre part, si cette variation commune suit la hiérarchie des constituants (Mi<GIi-Pi), la position Si ne reflète pas cette hiérarchie. Le contact en position Si est soit égal aux autres positions (2M) soit supérieur à Mi (1F).

Le comportement particulier de la consonne fricative peut être expliqué par sa résistance toute spéciale aux variations. En effet, il est connu que la fricative /s/ est peu sensible à l'influence coarticulatoire vocalique [p. ex. Wolf et al. 1976, Mc Cutcheon et al.1980]. En anglais, elle ne varie que peu entre attaque et coda [McGlone et al. 1967 pour la pression de la langue sur le palais, Byrd 1994 pour la quantité de contact linguopalatal]. Par contre en français, Dart (1991) montre que /s/ varie dans les mêmes proportions que les occlusives entre attaque et coda, mais l'auteur ne précise pas la direction des variations.

La stabilité de la fricative a été expliquée par le faible degré de liberté de la pointe de la langue qui, pour la production de cette consonne, doit être étroitement contrôlée pour former le chenal fricatif. Par exemple, Shadle & Scully (1995) montrent qu'une erreur d'un millimètre dans la distance entre la langue et le palais peut entraîner une production incorrecte de la fricative. De plus, une variation articulatoire pour la fricative aurait des conséquences acoustiques beaucoup plus importantes que pour une occlusive, comme le note Kohler :

"Fricatives are not assimilated under any conditions, because they are acoustically and auditorily far more distinct than nasals and unreleased plosives with regard to place cues so that their articulatory reduction would be too salient and is, therefore, not tolerated." [Kohler 1990 : 88]

Les variations de l'articulation de la fricative en fonction de la position prosodique peuvent donc être contraintes par ce faible degré de liberté articulatoire et acoustique.

D'autre part, comme je l'ai noté précédemment, l'EPG et le point de mesure effectué lorsque le contact est maximal, ne sont peut-être pas les moyens les plus appropriés pour observer l'effet de la position prosodique sur cette consonne. Comme le remarquent Stone et al. :

"... tongue groove depth and width cannot be inferred from EPG patterns, since the cross-sectional shape of the tongue is modified considerably by the amount of upward force with which it contacts the palate. [...] Increased upward force allows level lateral tongue margins and a narrower, deeper groove than would be predicted by tongue-palate contact alone, as during /s/. Still greater upward force causes the medial tongue to rise further, forming a level or convex shape relative to the palate." [Stone et al. 1992 : 266]

Ainsi, si les variations en fonction de la position prosodique consistent en une plus forte élévation de la langue qui entraîne une modification de sa concavité, cela n'apparaîtra pas sur les données EPG. Par exemple, Simon (1967) d'après ses données cinéradiographiques, explique que la différence entre la consonne sourde /s/ (forte) et la sonore /z/ (faible) est due à un rétrécissement du diamètre de constriction verticale entre la langue et le palais. Une telle variation n'apparaîtra sur les données EPG que si ce rétrécissement se traduit par un élargissement du contact latéral vers le centre du palais.

A.4. différence dans dans l'effet de la position prosodique entre les occlusives et les voyelles

Comparée aux occlusives, l'articulation des voyelles initiales /i/ et /A\$/ est moins affectée par la position prosodique. La distinction la plus fréquente se fait entre un niveau lexical (Mi) et un niveau supérieur (GAi-GIi). Une distinction entre les positions GAi et GIi n'apparaît que pour le /A\$/ d'un locuteur (loc. 3F) et pour le F3 de /i/ pour les deux locuteurs. La fréquence de glottalisation de /i/ permet de distinguer aussi les niveaux GAi et GIi

mais les variations ne vont pas dans la même direction pour les deux locuteurs ($G_{Ii} > G_{Ai}$ pour 1F, $G_{Ai} > G_{Ii}$ pour 2M).

Pour la voyelle /i/, la faible variation de contact linguopalatal peut s'expliquer par la stabilité articulatoire et acoustique particulière à cette voyelle. Comme pour la fricative /s/, la voyelle /i/ est connue pour sa résistance à l'influence coarticulaire des consonnes et voyelles environnantes [Lindblom 1963, Abry et al. 1980, Chafcouloff et al. 1989, Browman 1994]. En même temps, /i/ est la voyelle ayant la plus grande influence sur les segments en contexte [Butcher & Weiher 1976, Farnetani 1990]. Pour Recasens (1991), la stabilité articulatoire de la voyelle /i/ est expliquée par un effet de saturation dans le déplacement de la partie antérieure du dos de la langue. Les bords latéraux de la langue sont appuyés sur les molaires et le palais dur qui restreignent son déplacement [voir aussi Fujimura & Kakita 1979, Hoole et al. 1990, 1991]. Cette stabilité est aussi expliquée par son caractère quantique [Stevens 1972] qui contraint sa variation articulatoire car elle aurait des conséquences acoustiques dramatiques. En effet, comme le montre Majid (1986), la distinction acoustique entre /i/ et /e/ repose sur une très petite différence de la forme de la langue. Celle-ci est donc limitée dans ces variations pour maintenir l'identité de la voyelle.

Pour la voyelle /A\$/ , la faible variation en fonction de la position prosodique est plus difficile à expliquer. En fait, le débit d'air nasal de la voyelle ne varie que pour 2 locuteurs sur 4. Elle semble donc moins variable que la consonne /n/ dont le débit varie pour tous les locuteurs. Par contre si l'on compare le nombre de positions distinguées par la variation du débit de la voyelle on obtient d'avantage de positions : 2 sur 3 pour le locuteur 2M et 3 sur 3 pour le locuteur 3F. Pour la consonne /n/ seule la position G_{Ii} se distingue régulièrement. Je n'ai pas d'explication pour ces différences.

La moindre variabilité des voyelles en fonction de la position prosodique peut aussi être due au type de mesure. Comme je l'ai dit dans le chapitre Méthode, le maximum de contact ou de débit nasal n'est peut-être pas le point de mesure le plus approprié pour une voyelle.

A.5. Conclusion

Mes résultats me permettent de dire que la position prosodique affecte l'articulation de plusieurs types de segments en français. Dans les études publiées, la majeure partie des variations observées concerne des occlusives. J'ai montré qu'en français, *la position prosodique affecte non seulement des occlusives mais aussi des segments d'aperture plus grande*. En particulier, les voyelles, dont l'articulation a été le plus souvent étudiée en fonction de la position sous l'accent, sont aussi affectées par leur position dans un constituant.

Pourtant, si la position prosodique affecte plusieurs segments, il semblerait que la plage de variation autorisée est restreinte par un souci de maintien de l'identité phonologique du segment. Pour les occlusives cette plage de variation est large car, même avec un contact linguopalatal plus important en position supérieure, une occlusive reste une occlusive. Par contre pour une voyelle ou une fricative, l'articulation ne peut varier que dans une plage restreinte sans modifier leur identité et leurs caractéristiques acoustiques particulières. Ainsi, l'élévation de la langue pour /s/ ne peut pas beaucoup augmenter sans que la fricative se transforme en une occlusive (/s/ -> /t/), de même pour /i/ qui deviendrait une semi-voyelle (/i/ -> /j/). *Le nombre de positions prosodiques pouvant être distinguées par des variations articulatoires dépend donc du degré de liberté articulatoire et acoustique du segment observé.*

II.B. Un effet global de la position prosodique sur le mécanisme de production ?

Bien que les résultats obtenus ne sont pas aussi importants pour tous les systèmes articulatoires étudiés, j'ai observé des variations pour l'articulation linguale, nasale et glottale des segments. *L'effet de la position prosodique semble donc être un effet global sur le mécanisme de production car il affecte plusieurs articulateurs.*

Dans mon étude, l'effet de la position prosodique apparaît plus clairement pour l'articulation linguale que pour l'articulation nasale. En effet, les variations de débit d'air ne mettent en valeur que la position G_{Ii} pour /n/ et n'apparaissent que pour 2 locuteurs sur 4 pour /A\$/ . Trois explications peuvent être avancées pour comprendre

la différence entre les résultats obtenus pour l'articulation linguale et pour l'articulation nasale. La première est liée à la technique utilisée, les deux autres aux articulateurs :

(1) Le débit nasal n'est qu'une mesure indirecte de l'articulation du velum. Il est possible que la position du velum varie d'avantage avec la position prosodique mais que cette variation n'ait pas de conséquence sur le débit d'air nasal. D'autre part, le débit d'air nasal est influencée par les conditions aérodynamiques générales de l'émission de parole. Dans mon étude j'ai supposé que le débit d'air total était similaire dans toutes les positions. Or, pour la consonne /n/ la seule position qui se distingue nettement est la position GI qui est précédée d'une pause. Il est possible qu'une modification des conditions aérodynamiques pendant la pause favorise cette distinction.

(2) Indépendamment de la technique utilisée, la faible variation de l'articulation nasale peut être liée à une différence entre les degrés de liberté du velum et de la langue. Comme nous l'avons vu pour une occlusive, à partir du moment où l'occlusion linguale est formée, l'élévation de la langue contre le palais peut varier librement. Il est possible que le velum ait un degré de liberté plus faible lors de l'articulation d'une nasale. Il doit être suffisamment abaissé pour maintenir l'orifice vélopharyngé ouvert. L'effet de la position prosodique, qui se traduit par une élévation du velum, n'a donc peut être pas une plage de variation assez large pour marquer toutes les positions. Kuehn (1976) a montré que les variations dans la position du velum liées au débit de parole n'ont pas la même importance pour tous les locuteurs. Elles dépendent de leur utilisation personnelle de la plage de variation disponible pour cet organe. Une telle explication pourrait expliquer les différences que j'observe entre les locuteurs pour les variations du débit nasal de /A\$/ en fonction de la position prosodique.

(3) Il est aussi possible qu'il y ait une interaction entre les mouvements de la langue et ceux du velum en fonction de la position prosodique. Nous avons vu que pour /n/, l'élévation de la langue augmente progressivement en fonction de la position prosodique. Si la langue est plus élevée dans une position particulière, la cavité orale se réduira. Il y aura donc une pression intra-orale plus grande. L'air passant à travers la glotte pour la production de cette consonne voisée pourra alors être canalisé en plus grande quantité vers la cavité nasale. Ainsi, même si dans cette position, le velum est plus fermé, le débit nasal n'en sera pas diminué. Pour tester cette hypothèse, il est nécessaire d'observer ces deux articulateurs directement et de manière simultanée. Toutefois, cette hypothèse semble peu probable car les variations de débit d'air observées sont semblables pour un /n/ entouré de voyelles d'impédance orale forte (/i_i/) et un /n/ entouré de voyelles d'impédance orale faible (/a_a/). Cette explication n'est pas valable non plus pour expliquer les variations de débit d'air pour /A\$/.

II.C. En quoi consistent les variations articulatoires et acoustiques en fonction de la position prosodique ?

C.1. Un effet sur les caractéristiques articulatoires spacio-temporelles et sur le chevauchement

Les variations articulatoires que j'ai observées dans cette étude sont des variations subtiles qui ne modifient pas l'identité phonologique du segment. Elles affectent aussi bien les caractéristiques spatiales que temporelles de l'articulation des segments et parfois le chevauchement entre les gestes.

C1.a. Variations articulatoires spatiales en fonction de la position prosodique

α. Articulation linguale

Pour tous les segments étudiés, occlusives, liquides, fricatives ou voyelles, j'observe une augmentation du contact linguopalatal en début de constituant supérieur. Cette augmentation de contact reflète une modification de l'articulation linguale qui peut consister en un changement de la hauteur de la langue, de sa position sur l'axe antéro-postérieur ou de sa forme.

Les occlusives /t, n, k/ :

L'examen de la distribution du contact sur le palais a montré que dans les positions supérieures la surface de contact s'élargit vers l'arrière et parfois l'avant du palais pour /t/ et /n/ et vers l'avant du palais pour /k/. Cette

variation ne semble pas liée à un déplacement du lieu d'articulation sur l'axe antéro-postérieur mais à une augmentation de la surface de la langue en contact avec le palais. Celle-ci peut résulter d'une plus grande élévation de la langue provoquant une augmentation de la compression des tissus contre le palais et donc un élargissement de la surface de contact. Une telle augmentation de la surface de contact linguopalatal sous l'effet d'une élévation supplémentaire de la masse de la langue et/ou un rétrécissement de l'angle des maxillaires a été montrée entre autres par Rousselot (1901) et Straka (1963). Pour les consonnes antérieures, il est aussi possible que la partie de la langue (pointe ou lame) en contact avec le palais soit différente en fonction de son élévation. Si l'articulation est apico-dentale dans les positions inférieures, la surface de contact sera plus étroite et si elle est lamino-dentale dans les positions supérieures, la surface sera plus large.

La nature des variations que j'ai observées pour les occlusives est semblable à celle décrite en fonction de la position prosodique pour l'anglais, le coréen ou le taiwanais (voir introduction II.B.2). Elle est aussi similaire aux variations observées entre des occlusives initiales et finales en français et dans plusieurs langues (voir introduction II.B.1) ; entre des occlusives fortis et lenis ou en parole renforcée en français (voir introduction IV.C.2) ; entre des occlusives accentuées et non-accentuées en anglais (voir introduction II.A)

La liquide latérale /l/ :

Pour la consonne latérale, la variation articuloire en fonction de la position prosodique se traduit par une augmentation du contact antérieur médian et par une perte de l'asymétrie due à une augmentation du contact dans la région où se trouve le passage latéral.

Une augmentation du contact antérieur pour cette consonne a aussi été observée en parole renforcée par Straka (1963) en français et pour la distinction entre attaque et coda pour /l/ en anglais [p. ex. Keating & Wright 1994]. Straka (1963, pour la parole renforcée), Browman & Goldstein (1995, pour la distinction attaque-coda) et Simon (1967, pour la différence entre /l/ initial et /l/ intervocalique) montrent que l'augmentation du contact antérieur résulte d'une plus grande élévation de la langue. La perte d'asymétrie et la diminution de l'ouverture du passage latéral que j'observe en position supérieure peuvent ainsi résulter d'une augmentation de la hauteur de la langue.

La fricative /s/ :

Comme je l'ai déjà noté, l'articulation linguale de /s/ est peu affectée par la position prosodique. Lorsqu'elle l'est, la variation se traduit par une augmentation du contact dans la région antérieure où se trouve le chenal fricatif. Cette augmentation peut s'accompagner d'un rétrécissement de la largeur de ce chenal (loc. 1F). Ce type de modification a été observé par Straka (1963) en parole renforcée et par Simon (1967) pour la différence entre /s/ et /z/. Ces auteurs montrent que l'augmentation du contact est liée à une élévation supplémentaire de la langue.

La voyelle /i/ :

La distinction entre la position Mi et les positions GAi-GIi pour la voyelle /i/ consiste en une augmentation du contact linguopalatal aux positions supérieures. Cette augmentation de contact peut être la conséquence d'une élévation supplémentaire de la langue. Pourtant, pour les deux locuteurs, le contact linguopalatal augmente aux positions GAi et GIi sans pour autant diminuer la fréquence de F1. Si on considère F1 comme le corrélât acoustique de l'aperture de la voyelle, l'augmentation du contact ne reflète pas une diminution de son aperture. Il semblerait donc que s'il y a une augmentation de l'élévation de la langue aux positions supérieures celle-ci n'est pas suffisante pour modifier F1. Il pourrait alors y avoir une compensation entre la langue et la mâchoire [cf Maeda 1990].

Toutefois, l'augmentation du contact peut aussi être le reflet d'une antériorisation de la voyelle : si la langue est plus avancée dans les positions supérieures, elle sera plus appliquée sur les bords latéraux avant du palais, ce qui augmentera le nombre de contacts vers l'avant. Je n'ai pas mesuré la distribution des contacts sur le palais pour cette voyelle en fonction de la position prosodique car les profils de contact m'ont paru très variables entre les répétitions. Cependant, l'antériorisation de la voyelle peut être déduite des variations de F2 pour le locuteur 2M : dans les positions GAi et GIi l'augmentation du contact est associée à une augmentation de F2. Par contre, pour le locuteur 1F, il n'y a pas d'effet sur F2. Cette différence entre les locuteurs n'est pas surprenante si l'on considère les résultats de Harrington et al. (1996) qui observent sous l'accent qu'un de leurs deux locuteurs produit un /i/ avec une langue plus basse et plus avancée, alors que pour l'autre locuteur la langue est plus haute.

Une technique d'investigation articulatoire permettant d'observer la forme et le déplacement de la masse de la langue (p. ex. l'EMA) devra être utilisée pour conclure sur la nature des variations linguales en fonction de la position prosodique.

Dans la présentation des variations articulatoires sous l'accent (introduction II.A.), j'ai insisté sur le fait que le sens des variations pouvait être fonction de l'aperture des voyelles. Plusieurs auteurs ont montré que si l'accent augmente l'ouverture des voyelles ouvertes, il augmente la fermeture et l'antériorisation des voyelles fermées. En français, cela apparaît pour la voyelle /i/ dans les données de Rousselot (1901), Chlumsky (1938) et Giot (1977). Dans cette thèse, je montre que l'effet de la position prosodique sur une voyelle fermée ne se traduit pas non plus par une augmentation d'aperture. Ceci confirme les observations de Lehiste (1964) pour les voyelles initiales dans un Mot en finnois montrant que celles-ci sont plus périphériques qu'en début de Syllabe. Par contre, mon résultat va à l'encontre des observations de Straka (1963) qui obtient une augmentation de l'abaissement de la langue pour toutes les voyelles (/i, **E**, a/) en parole renforcée. (Je reviendrai plus loin sur cette différence).

β. Articulation nasale

Même si le nombre de positions distinguées est moins important que pour les variations de contact linguopalatal (cf. section II.B.) et qu'il existe de fortes variations entre les locuteurs, la tendance générale est la même : le débit nasal tend à diminuer en position supérieure pour la consonne nasale et la voyelle nasale étudiées. Seul un locuteur (4F) montre une augmentation de débit nasal en position GI pour /n/ dans un des contextes vocaliques (/a_a/) que je ne peux expliquer.

Dans cette étude, j'interprète les variations de débit nasal comme la conséquence indirecte d'une modification de l'ouverture vélopharyngée. Cette ouverture est contrôlée en partie par la hauteur du velum. Un velum plus élevé réduit la taille de l'orifice vélopharyngé et donc diminue la quantité d'air s'écoulant par le nez. Un velum plus bas augmente au contraire l'aperture de cet orifice ce qui se traduit par un débit nasal plus important. L'élévation du velum semble donc être plus importante en début de constituant supérieur (GI pour /n/, GA et/ou GI pour /A\$/). Cette variation dans la position du velum va dans le même sens que celle qui distingue une nasale d'attaque d'une coda en anglais et en japonais (voir introduction II.B.1). Mes résultats me permettent donc de confirmer que la position du velum pour les nasales initiales est aussi plus élevée en français, la variation étudiée se faisant entre consonnes initiales à plusieurs niveaux prosodiques et non entre attaque et coda.

γ. Articulation glottale

Dans mon étude, la position prosodique n'a pas un effet important sur la durée du VOT des consonnes sourdes. Par contre, la position prosodique a un effet sur la fréquence de glottalisation des voyelles initiales qui augmente au début des constituants supérieurs.

Le terme glottalisation caractérise différentes variations du mode phonatoire et différentes manifestations acoustiques. Celles-ci peuvent se résumer en une modification de la constriction de la glotte. La constriction est augmentée par un resserrement des cartilages aryténoïdes, offrant ainsi une plus forte résistance à l'écoulement de l'air [Ladefoged & Maddieson 1995].

La tendance syllabique du français privilégie la formation de syllabes ouvertes CV. La voyelle initiale d'un Mot se retrouve dans la chaîne parlée associée à la consonne finale du mot précédent par des processus de resyllabification (liaison ou enchaînement). Même lorsque le mot précédent se termine par une voyelle, il se produit fréquemment un hiatus (une "liaison vocalique" selon Grammont 1933:417) sans que les cordes vocales ne cessent de vibrer d'une voyelle à l'autre. De ce fait, la frontière initiale de Mot est rarement marquée dans le signal quand ce mot commence par une voyelle. D'autre part, les voyelles en français sont généralement décrites comme ayant une attaque plus douce qu'en anglais ou allemand [p. ex. Delattre 1965]. Mes résultats confirment ces caractéristiques en montrant que la voyelle /i/ n'est jamais glottalisée en position initiale de Mot dans mon corpus. Je n'ai pas comparé la position Mi avec le début de Syllabe, mais il est fort probable que dans cette position la glottalisation soit aussi très rare. Par contre dans les positions prosodiques supérieures GAi et GIi, le marquage de la frontière prosodique peut consister en une glottalisation de la voyelle comme cela apparaît dans d'autres langues (voir introduction II.B.2). Toutefois, si la glottalisation est un indice possible de frontière en français, sa production semble optionnelle et son utilisation (pour marquer telle ou telle frontière) est fonction du locuteur.

C1.b. Variations temporelles (articulatoires et acoustiques) en fonction de la position prosodique

α. Durée des événements articulatoires

Un geste articulatoire⁵⁶ n'existe pas seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps. Par exemple, les travaux de Lindblom (1963) sur le "target undershoot" et les diverses observations de parole en débit rapide [entre autres, Vatikiotis-Bateson & Kelso 1993] ont montré que les caractéristiques spatiales et temporelles des gestes articulatoires ne varient pas de façon indépendante. L'EPG ou les débits d'air ne me permettent pas de suivre l'évolution temporelle complète des gestes mais seulement de quelques événements articulatoires. Pour les occlusives, j'ai donc examiné l'effet de la position prosodique sur les caractéristiques spatiales et temporelles de l'occlusion linguale et de ce que j'appelle "la nasalisation" (valeur de débit nasal et durée de l'augmentation de débit nasal pour /n/). Cet examen avait deux objectifs :

- Premièrement, je cherchais à savoir si les caractéristiques temporelles d'un geste articulatoire sont aussi affectées par la position prosodique. Un allongement de la durée des gestes articulatoires a été montré pour la distinction entre position initiale et position finale dans plusieurs langues et pour les variations en début de constituants de différents niveaux (voir introduction II.B.1 et 2). Dans mon étude, j'observe que la position prosodique a un effet sur la durée de l'occlusion linguale et sur la durée de la nasalisation. La durée de l'occlusion linguale augmente en position supérieure, elle permet de distinguer un nombre moins important de positions que les variations de contact pour /t/ et /n/. La mesure de la durée de la nasalisation permet de distinguer plus de positions prosodiques que la mesure du débit d'air qui ne distingue généralement que la position Gli des positions inférieures. Mais les variations de la durée de la nasalisation ne suivent pas toujours la hiérarchie des constituants : seules quelques positions isolées se distinguent et ceci est fonction des locuteurs et des contextes vocaliques. Le tableau VI.5 présente le résumé des variations temporelles observées.

- Deuxièmement, je cherchais à vérifier que les variations articulatoires spatiales observées ne sont pas seulement une conséquence indirecte d'une augmentation de la durée des gestes. La constriction de la langue sur le palais pourrait être plus importante parce que le geste d'occlusion est plus long. Cette explication est l'inverse des observations de Lindblom (1963, 1964) qui montre que la réduction des cibles articulatoires des voyelles (undershoot) est fonction de leur durée [voir aussi Moon & Lindblom 1994]. De même, l'augmentation de la durée d'un geste peut être le résultat d'une augmentation du déplacement. Par exemple, le geste d'occlusion pourrait être plus long parce que la langue se déplace plus loin vers le palais. L'EPG ou les débits d'air n'apportent pas d'information sur les caractéristiques cinématiques des gestes articulatoires, comme la vélocité, le déplacement, etc... J'ai donc étudié les relations entre caractéristiques temporelles et spatiales en comparant leurs variations en fonction de la position prosodique.

Tableau VI.5. Résumé des variations observées en fonction de la position prosodique pour la durée de l'occlusion linguale et la durée de la nasalisation.

EPG	durée de l'occlusion linguale	
	Locuteur 1F	Locuteur 2M
/n/	Si, Mi < GAi < Gli, Pi	Si < GAi < Gli, Pi ; Mi < Gli, Pi
/t/	Si < Mi, GAi < Gli < Pi	Si, Mi < GAi < Gli, Pi
/k/	Mi, GAi < Gli	Mi, GAi < Gli

Débit	durée de la nasalisation			
	Locuteur 1F	Locuteur 2M	Locuteur 3F	Locuteur 4F
/ana/	ns	Si, Mi < GAi, Gli	ns	Si, Mi < GAi, Gli
/ini/	Si, GAi > Mi, Gli	Si, Mi, GAi > Gli	Si, GAi > Mi, Gli	Si > GAi > Mi > Gli

⁵⁶J'utilise ici le mot "geste" dans un sens pré-théorique, au sens d'événement articulatoire. Il ne s'agit pas ici du Geste défini dans la Phonologie Articulatoire comme unité minimale de contraste, ou comme structure minimale de contrôle d'un mouvement articulatoire (voir par ex. Browman et Goldstein 1992).

Pour le geste lingual, j'observe une corrélation entre la durée de l'occlusion et la quantité de contact linguopalatal. Plus la durée de l'occlusion est longue, plus il y a de contact linguopalatal. Mais les variations de l'une de ces variables n'expliquent qu'un peu plus de la moitié des variations de l'autre. Les variations spatiales ne sont donc qu'en partie conditionnées par les variations temporelles et vice versa.

Pour la nasalisation, je n'ai pas calculé la corrélation entre la durée de la nasalisation et le débit nasale car cette dernière variable ne distingue clairement qu'une seule position prosodique (GIi). J'observe que dans cette position, la diminution du débit n'est associée à une variation temporelle que pour certains locuteurs et le sens de cette variation varie en fonction du contexte vocalique. Pour la séquence /ana/, il y a un allongement de la nasalisation en position GIi pour deux locuteurs (2M, 4F). Mais cet allongement apparaît aussi en position GAi qui n'est pas marquée par une diminution de débit nasal. Pour la séquence /ini/, il y a un raccourcissement de la nasalisation en position GIi pour tous les locuteurs. Pour deux des locuteurs (1F et 3F), ce raccourcissement est similaire à celui observé en position Mi qui pourtant n'est pas marquée par une diminution de débit nasal. La diminution de débit nasal en position GIi ne peut donc pas être expliquée par une variation temporelle seule. L'indépendance entre ces deux variables apparaît également dans le comportement du locuteur 4F qui ne présente pas les mêmes variations de débit (stable ou supérieur en GIi) que les autres locuteurs, mais qui produit des variations temporelles similaires à celles des autres locuteurs.

β. Durée acoustique

Une variation de durée acoustique ne correspond pas à la durée d'un geste articulatoire particulier mais à celle de tous les gestes nécessaires à la production du segment (p. ex. les gestes glottal, lingual et nasal pour /n/) et à leur alignement temporel. Cet allongement initial a été montré en début de Mot dans plusieurs langues et à plusieurs niveaux de constituants (voir introduction II.B.4).

Dans cette étude sur le français, j'observe un effet de la position prosodique sur la durée acoustique surtout pour les consonnes. Mais ces variations ne suivent que partiellement la hiérarchie des constituants. La position prosodique qui se distingue le plus fréquemment par un allongement de sa consonne initiale, est la position GAi. Les positions prosodiques supérieures GIi et Pi ne sont pas marquées par un allongement supérieur à celui de cette position GAi. La durée de la consonne en GIi et Pi est particulièrement variable : elle est généralement plus courte qu'en GAi et elle est égale ou inférieure à celle des positions Mi et Si. Cette variabilité de la durée des consonnes en GIi et Pi dans mes données est probablement liée à la présence d'une pause dans ces positions [voir p. ex. Lisker & Abramson 1967]. Pour les positions non précédées d'une pause (Si-Mi-GAi), j'observe parfois un allongement progressif de la consonne de la position Si à Mi à GAi (pour la tenue de /t/, /n/ en contexte /a_a/). Mais la tendance la plus nette est que la consonne en position GAi est plus longue que celle des positions Si et Mi.

La position prosodique a très peu d'effet de sur la durée des voyelles. Les variations existantes dépendent des voyelles et des locuteurs. Toutefois, ces résultats sont à analyser avec précaution car l'intervalle glottalisé n'est pas inclus dans les mesures. Comme la glottalisation est plus fréquente en début de GA et GI, les voyelles peuvent être plus longues, dans ces positions, sans que cela apparaisse dans mes mesures.

L'allongement initial en français ne permet donc pas de distinguer de façon régulière différents débuts de constituant comme le permettent les variations articulatoires. *L'allongement initial apparaît plutôt comme un indice particulier marquant le début d'un Groupe Accentuel* (pour les consonnes au moins).

CI.c. Variations dans le chevauchement entre les gestes en fonction de la position prosodique

Plusieurs études ont montré un renforcement de la cohésion temporelle intra et inter gestes en position initiale (voir introduction II.B.3). Au sein d'un groupe de consonnes, la coordination temporelle entre les gestes des deux consonnes est plus stricte lorsque le groupe est en position initiale dans un Mot qu'en position finale : il y a moins de chevauchement entre les deux membres du groupe et leur cohésion temporelle est plus stable (moins variable) [Byrd 1994]. De plus, la cohésion temporelle entre les gestes formant l'articulation d'une consonne seule est plus importante en attaque qu'en coda. Par exemple, l'alignement entre les gestes du corps et de la pointe de la langue pour /l/ ou les gestes du velum et des lèvres pour /m/ est plus synchrone lorsque la consonne

est en début de Mot ou de Syllabe [Browman & Goldstein 1992, 1995]. Dans des constituants de niveau supérieur, l'effet de la position prosodique est apparu sur le degré de chevauchement entre deux consonnes séparées par une frontière : l'anticipation des gestes de la consonne initiale est réduite lorsqu'elle est précédée par une frontière importante (i.e. lorsqu'elle est au début d'un constituant supérieur) que cette frontière soit marquée ou non par une pause [p. ex. Hardcastle 1985].

Dans mon étude, j'ai examiné l'effet de la position prosodique sur la cohésion temporelle (1) inter-gestes dans un groupe de consonnes /kl/ placé en position initiale dans des constituants de niveaux différents et (2) intra-gestes pour la consonne /n/ en observant l'alignement temporel du début et de la fin de la nasalisation par rapport aux frontières acoustiques de /n/ (correspondant à la mise en place des vibrations laryngées). Enfin, j'ai observé indirectement si la position prosodique avait un effet sur le chevauchement, non plus temporel, mais spatial entre une consonne et initiale et la voyelle suivante dans la syllabe /na/ et entre la voyelle initiale /i/ et les consonnes labiales environnantes.

α. coordination temporelle inter-gestes dans le groupe de consonnes /kl/

L'effet de la position prosodique sur la coordination entre le geste de /k/ et le geste de /l/ dans le groupe /kl/ n'apparaît pas clairement dans mes données :

- d'une part, j'observe un allongement de la durée de l'intervalle entre le geste d'élévation de la langue pour /l/ et le relâchement de la constriction arrière pour /k/ en position supérieure. Mais l'allongement de cet intervalle inter-gestes ne reflète pas une modification de la coordination entre ces gestes : l'apparition plus tardive de l'occlusion de /l/ peut être expliquée par le fait que le geste de /k/ est plus long en position supérieure. En effet, l'indice de chevauchement montre que la succession de ces gestes est fonction de la durée de /k/ : l'allongement de l'intervalle inter-gestes est proportionnel à l'allongement de /k/. Ainsi, dans toutes les positions le geste d'occlusion pour /l/ apparaît toujours dans la même proportion par rapport au début de /k/ (environ 120%). Ceci indique que le déphasage entre les gestes de /k/ et /l/ n'est pas modifié par la position prosodique.
- d'autre part, l'examen des cas de double occlusion montre que leur distribution varie en fonction de la position prosodique. Une double occlusion signifie que le chevauchement entre les gestes de /k/ et /l/ est tel que l'occlusion de /l/ est simultanée ou anticipée par rapport au relâchement de l'occlusion arrière de /k/. Ces cas ne sont pas fréquents, mais pour les deux locuteurs, lorsqu'ils apparaissent, ils sont plus fréquents au début d'un Mot qu'au début d'un constituant supérieur GI. De plus, un effet de la position prosodique sur la variabilité de la coordination entre les gestes de /k/ et /l/ apparaît dans les productions d'un des locuteurs (loc. 2M). Pour celui-ci, la cohésion temporelle mesurée par l'indice de chevauchement est plus stable en position GIi (moins variable) qu'en position Mi (plus variable).

L'effet de la position prosodique sur la coordination temporelle au sein d'un groupe de consonnes initial nécessite donc une plus ample expérimentation pour être compris.

β. coordination temporelle intra-gestes pour /n/

L'étendue de l'anticipation de la nasalisation par rapport au début acoustique de /n/ est très variable. Elle est affectée par la position prosodique mais cet effet varie en fonction des locuteurs, des positions et du contexte vocalique. Pour deux locuteurs (2M et 4F), la position supérieure GIi dans le contexte /a_a/ se caractérise par une anticipation plus grande par rapport aux positions inférieures. Cette modification distingue particulièrement la position GIi de la position GAi : pour ces deux locuteurs, la durée de la nasalisation est plus longue en position GIi et GAi, mais cela se traduit par une anticipation plus précoce uniquement pour la position GIi (probablement parce qu'elle est précédé d'une pause). En ce qui concerne la persévération du débit nasal sur la voyelle suivante, la variation la plus régulière est une persévération plus importante dans la position la plus basse (Si) par rapport aux positions supérieures pour la séquence /ini/ de tous les locuteurs.

L'alignement temporel entre la nasalisation de /n/ et ses frontières acoustiques ne permet donc pas de différencier clairement les débuts de différents constituants prosodiques. La position prosodique semble avoir un effet mais celui-ci est variable et ne reflète pas la hiérarchie des constituants. Comme je l'ai déjà dit, la mesure de la nasalisation ne correspond pas à un événement articulatoire précis. Ces résultats n'excluent donc pas une

différence de coordination temporelle entre les mouvements du velum et des autres articulateurs en fonction de la position prosodique.

γ. chevauchement spatial dans la syllabe initiale /na/ et la séquence /pip/

Dans la syllabe /na/, le degré de contact linguopalatal de la consonne est plus important au début de constituant supérieur mais les caractéristiques spectrales de la voyelle suivante ne varient pas de façon régulière en fonction de la position prosodique de la syllabe.

La voyelle /a/ aurait pu être modifiée en fonction de la position de la syllabe sous l'effet des variations articulatoires de la consonne initiale. La consonne initiale (/n/) étant plus fermée en début de constituants supérieurs, l'élévation supplémentaire de la langue et/ou de la mâchoire pour la consonne pourrait affecter la voyelle suivante et la fermer d'avantage. Stone (1981) par exemple, observe que dans une suite de 8 à 9 syllabes CV, le /d/ initial a une position de la mâchoire plus élevée que les /d/ suivants. En conséquence, la voyelle (/e, a/) suivant le /d/ initial est plus fermée que les autres. Dans mes données, si la voyelle /a/ se ferme d'avantage en position supérieure son F1 aurait dû diminuer. Or je n'observe une diminution de F1 dans la position GIi mais pas dans la position Pi, alors que dans ces deux positions, la langue a la même élévation pour /n/. Il n'est donc pas possible d'expliquer la fermeture de /a/ par une élévation supérieure de la langue dans une des positions et pas dans l'autre. Je ne peux pas expliquer cette différence.

Gendron (1966) a suggéré qu'en position initiale dans un Mot, la coarticulation entre la consonne et la voyelle est moins importante. Ceci lui permet d'expliquer pourquoi les voyelles fermées canadiennes sont moins fréquemment désonorisées sous l'influence d'une consonne sourde précédente en début de mot (1/5 des réalisations) qu'en début de Syllabe interne au Mot (1/2 des réalisations). Gow et Gordon (1993) montrent également que la voyelle d'une syllabe CV en début de mot en anglais est moins sujette à réduction que dans les syllabes non initiales. Dans mon étude, je n'ai pas observé de diminution du chevauchement spatial entre la consonne initiale /n/ et la voyelle suivante /a/ en position prosodique supérieure. Toutefois, le corpus n'a pas été conçu pour tester si l'influence coarticulatoire d'une consonne initiale sur la voyelle suivante varie en fonction de la position prosodique. En effet, /na/ n'est pas le meilleur choix de syllabe pour mettre en évidence la coarticulation de C à V (comparée à une syllabe /ki/ vs. /pi/ p. ex.). De plus dans mon corpus, la voyelle /a/ semble déjà maximale coarticulée avec son contexte antérieure ("Nadia") si l'on considère la valeur de son F2 (env. 1700Hz, cf. figure 3.41).

La position prosodique peut affecter le chevauchement entre les gestes, non seulement en modifiant l'influence coarticulatoire du segment initial, mais aussi en modifiant sa perméabilité à la coarticulation. Si un segment initial est plus stable, comme le suggèrent les données sur la cohésion temporelle, alors il peut être plus résistant au chevauchement des gestes environnants.

Les variations spectrales que j'observe pour la voyelle initiale /i/ semblent conforter cette hypothèse. La voyelle /i/ est une voyelle particulièrement résistante à la labialisation contextuelle [p. ex. Abry et al. 1980, Browman 1994]. Or, j'observe que cette résistance est fonction de la position prosodique. J'interprète les variations de F3 de /i/ comme un indice de la labialisation de /i/ qui est placé entre deux consonnes labiales ("Philippe Ippine"). Pour les deux locuteurs, F3 augmente progressivement de la position Mi à la position GAi à la position GIi. Un /i/ en position Mi semble donc plus labialisé qu'en position GAi, et celui-ci est plus labialisé qu'en position GIi.

Cette observation est très intéressante car elle tend à montrer qu'un segment initial est plus résistant à la coarticulation lorsqu'il est initial dans un constituant supérieur. La résistance des segment initiaux a été démontrée au niveau du Mot (cf introduction III). Elle devra être prouvée au niveau des constituants supérieurs.

C.2. Confrontations des variations observées aux hypothèses d'augmentation du contraste de sonorité, de renforcement des traits distinctifs et de renforcement articuloire

En introduction (section IV), j'ai présenté trois hypothèses pouvant expliquer le mécanisme gouvernant les variations articulatoires en début de constituant prosodique :

1. le renforcement du contraste de sonorité
2. le renforcement des traits distinctifs

3. le renforcement articuloire ou l'augmentation de tension initiale

Ces trois hypothèses donnent des prévisions différentes quant aux variations à attendre en fonction de la position prosodique. Le tableau VI.6 confronte les résultats que j'ai obtenus à ces hypothèses. Je me concentrerai dans cette section sur les variations observées qui infirment les hypothèses 1 et 2. Ces variations sont notées sur le tableau VI.6 en grisé.

Tableau VI.6 : Comparaison entre les variations articulatoires observées en position initiale dans cette thèse et les variations prédites par les hypothèses présentées en introduction (Tableau I.2) : en (1) l'hypothèse d'augmentation de sonorité (et contraste CV) [Beckman et al. 1994] ; en (2) l'hypothèse de renforcement des traits distinctifs [DeJong 1995] ; en (3) l'hypothèse d'augmentation de la force articuloire telle qu'elle a été formulée par Straka (1963) ; en (4) l'hypothèse d'augmentation de la force articuloire prenant en compte l'action des muscles élévateurs dans la production des voyelles ; en (5) pour le vélum l'hypothèse de tension initiale (Vaissière 1986a, 1988). Dans les dernières colonnes sont présentées les variations observées dans cette thèse. Les signes ↑ et ↓ notent une élévation et un abaissement de l'articulateur, respectivement. En grisé sont indiqués les cas invalidant certaines des hypothèses.

	langue				velum						langue	velum
	1	2	3	4	1	2	3	5				
Occlusives												
orales	↑	↑	↑	↑		↑	↑	↑	/t/, /k/	↑		
nasales	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	/n/	↑	↑ (Gli)	
latérales	↑	↑	↑	↑				↑	/l/	↑		
Fricatives	↑	↑	↑	↑				↑	/s/	(↑)		
Voyelles												
ouvertes	↓	↓	↓	↓				↑				
fermées	↓	↑	↓	↑ =				↑	/i/	↑		
nasales						↓	↑	↑	/A\$/		↑	

C2.a. Il n'y a pas toujours d'augmentation du contraste de sonorité ou d'aperture entre consonnes et voyelles en position initiale

L'idée d'une augmentation du contraste de sonorité ou d'aperture entre consonnes (C) et voyelles (V) a été avancée pour expliquer les variations articulatoires sous l'accent [Edwards et Beckman (1988) et Beckman et al. (1992)] et en parole renforcée [Straka (1963)].

L'examen des variations articulatoires pour les voyelles fermées est un paradigme adapté pour tester cette hypothèse. En général, les partisans de l'augmentation du contraste de sonorité ou d'aperture sous l'accent ne présentent que des données pour des voyelles ouvertes et extrapolent cette idée à toutes les voyelles. Or comme nous l'avons vu, en français comme dans d'autres langues, plusieurs auteurs ont montré que les voyelles fermées sont plus fermées sous l'accent [p. ex. Giot 1977]. Dans mon étude, j'observe que la voyelle fermée /i/ est plus fermée en position initiale dans un constituant supérieur. Les variations observées sont similaires à celles présentées par certains sous l'accent : la voyelle est plus fermée et/ou plus antérieure en position supérieure. *L'effet de la position prosodique ne se traduit donc pas par un renforcement de l'aperture ou la sonorité de la voyelle fermée /i/.*

Toutefois, le comportement des consonnes en position initiale confirme l'idée d'un renforcement du contraste d'aperture car elles sont toutes (occlusives, fricatives, liquides) plus fermées en position supérieure. Dans la syllabe /na/ étudiée, il y a une augmentation du contraste d'aperture syntagmatique entre la consonne et la voyelle suivante puisque la constriction de la consonne /n/ augmente en suivant la hiérarchie des constituants. Mais ce contraste n'est pas renforcé par une augmentation de l'ouverture de la voyelle suivante (F1 n'augmente jamais). Ceci va à l'encontre des résultats présentés par Farnetani et Vayra (1996) qui observent en italien une fermeture de la consonne et une ouverture des voyelles /i, a, u/ dans la syllabe CV initiale dans un Mot. Dans notre étude sur l'anglais [Fougeron & Keating 1997] un des trois locuteurs montrait aussi une plus grande ouverture de la

voyelle /o/ dans une syllabe initiale /no/ à différents niveaux de constituants. *Mes résultats ne confirment pas l'idée d'un renforcement du contraste d'aperture sur toute la syllabe initiale, mais montrent qu'il y a seulement une augmentation de la fermeture de la consonne initiale en français.*

D'autre part, le renforcement du contraste entre C et V ne semble pas toujours se traduire par un renforcement du contraste de sonorité. Manuel (1991) a suggéré que les variations articulatoires de /n/ en position initiale se traduisent par une diminution de la sonorité d'une consonne initiale pour la rendre plus distincte en terme d'énergie acoustique par rapport aux voyelles adjacentes. J'ai vérifié cette hypothèse en comparant la différence d'énergie acoustique entre une consonne sonnante (/n/ et /l/) et la voyelle suivante. Bien que la tendance la plus régulière soit une diminution de la différence d'énergie entre C et V dans la position la plus haute (Gi) par rapport à la position la plus basse (Mi), il y a de fortes variations entre les locuteurs, les positions et les segments. De plus l'augmentation de la distinction CV en terme d'énergie ne se fait pas toujours par une diminution de l'énergie de la consonne par rapport à la voyelle : en fonction du locuteur, ce sont les variations de C et/ou de V qui contribuent à accroître la différence d'énergie V-C. En anglais, nous n'avons pas trouvé non plus d'effet régulier de la position prosodique sur l'énergie de la consonne /n/ [Fougeron & Keating 1996].

C2.b. Il n'y a pas toujours de renforcement des traits distinctifs en position initiale

De Jong (1995) a proposé d'expliquer les variations articulatoires sous l'accent par un renforcement local des traits distinctifs des segments accentués. Comme nous l'avons vu en introduction cette hypothèse ne peut pas expliquer les variations dans la hauteur du velum observées en position initiale dans un Mot. Mes résultats confirment ce fait en français et pour des constituants de niveau supérieur : j'observe une diminution du débit d'air nasal pour la consonne /n/ et la voyelle nasale /A\$/ en début de constituants. *Le trait distinctif nasal de ces segments n'est donc pas renforcé par la position prosodique.*

D'autre part, cette hypothèse de renforcement des traits distinctifs pose un problème plus général, à savoir quels traits distinctifs seraient mis en valeur sous l'accent ou en position initiale. Pour une voyelle fermée par exemple, la mise en valeur du trait de fermeture induit une élévation de la langue, par contre la mise en valeur du trait vocalique induit un abaissement de la langue. De même pour les nasales : le renforcement du trait de nasalité induit un abaissement du velum, mais un renforcement du trait consonantique peut induire une plus grande élévation du velum pour diminuer le caractère sonnante de la consonne (réduction de son débit d'air nasal et de son énergie acoustique). Cette hypothèse n'est donc pas totalement exclue mais il est nécessaire de définir plus précisément la nature des traits renforcés.

En résumé, les variations articulatoires ne consistent pas *essentiellement* en une augmentation de sonorité/aperture ou un renforcement des traits distinctifs. Les variations articulatoires peuvent contribuer à mettre en valeur les contrastes syntagmatiques et paradigmatiques suggérés par ces deux hypothèses mais elles ne semblent pas être produites uniquement dans ce but. Nous allons voir que les variations articulatoires que j'observe à plusieurs niveaux de constituants répondent d'avantage aux prévisions faites par l'hypothèse physiologique de renforcement articulaire.

C.3 Un renforcement articulaire local en position initiale, réflexions sur le mécanisme physiologique

Dans le tableau VI.6, il apparaît que la majeure partie de mes résultats est conforme aux prévisions faites par l'hypothèse de renforcement articulaire et de tension initiale. En effet, les variations articulatoires que j'ai observées en fonction de la position prosodique sont semblables à celles communément regroupées sous le terme de "renforcement articulaire". Pour les consonnes, la distinction entre le début d'un constituant supérieur et le début d'un constituant inférieur se traduit par une augmentation de la constriction linguale et une diminution de l'aperture vélopharyngée. Ces variations ont été observées par différents auteurs entre position initiale forte et position finale faible au niveau du Mot, entre segments fortis et lenis, ou entre parole renforcée et parole normale (voir introduction IV.C). La seule différence apparaît pour la voyelle fermée /i/ dont l'élévation de la langue va à l'encontre de l'abaissement prédit par Straka en parole renforcée. L'hypothèse de renforcement articulaire avancée par Straka consiste en une augmentation locale de la contraction des muscles entrant en action pour une

articulation donnée (1963:91). Nous allons voir comment cette hypothèse peut rendre compte des variations que j'ai observées en fonction de la position prosodique, y compris l'élévation de la langue pour /i/.

C3.a. Explication des variations observées par une augmentation de la contraction musculaire

Une augmentation de l'activité musculaire en position initiale est suggérée par les résultats de certains auteurs sur l'activité musculaire labiale et, indirectement, par des données sur la pression de la langue sur le palais (voir introduction II.B). Les données articulatoires que je présente dans cette étude n'apportent pas d'information directe sur l'activité musculaire des articulateurs. Pourtant, j'essaierai d'expliquer ici comment une augmentation de la contraction musculaire pourrait produire les variations observées en fonction de la position prosodique :

- Les variations de débit d'air que j'observe en début de constituant supérieur pour la consonne et la voyelle nasale sont les indices les plus probants pour confirmer l'hypothèse de renforcement articulatoire. Nous avons vu (introduction IV.C.3) que l'ouverture de l'orifice vélopharyngé est conditionnée par la décontraction du muscle responsable de l'élévation du velum, le levator-palatini (peristaphylin pour Straka 1963). Une augmentation de la contraction musculaire du levator-palatini en position initiale provoquerait une élévation du velum et une diminution de l'aperture vélopharyngée. Le débit d'air nasal en serait alors diminué (pour un débit total constant), comme cela est observé en position GIi pour les /n/ de 3 locuteurs sur 4 et dans plusieurs positions pour /A\$/ de deux locuteurs. Cet effet de la position prosodique peut être décrit comme une diminution de la décontraction ou une augmentation de la contraction musculaire par rapport au degré attendu pour une nasale.

La variabilité observées dans les résultats sur le débit nasal en fonction de la position prosodique est problématique. Toutefois, même si la diminution de débit d'air ne distingue qu'un nombre restreint de positions prosodiques et varie entre les locuteurs, la tendance est régulière. Elle va dans la même direction pour les consonnes et les voyelles nasales, comme l'avait prédit Straka (1963). De plus elle est conforme aux variations de la position du velum observées pour les nasales d'attaque (vs. coda) ou les nasales en début de Mot [Fujimura 1977, Vaissière 1986a, Krakow 1989].

- Les variations linguales en début de constituant supérieur pour les consonnes occlusives, fricatives et liquides peuvent aussi être expliquées par une augmentation de la contraction musculaire. L'élévation de la langue pour ces consonnes est produite par la contraction des muscles élévateurs de la langue (genioglosse, palatoglosse, styloglosse). D'après Straka (1963) une augmentation de la contraction de ces muscles pousserait l'organe dans une position plus extrême, la langue serait donc plus élevée. Pour les occlusives, l'augmentation de l'élévation de la langue provoquerait une plus forte pression des tissus contre le palais, et donc un élargissement de la surface de contact.
- Pour la voyelle /i/, l'augmentation de l'élévation et/ou antériorité de la langue en position supérieure contredit les prédictions de Straka (1963). Pour lui, seuls les muscles abaisseurs de la langue (hyoglosse et genioglosse antérieur) sont affectés par le renforcement articulatoire car ce sont les muscles principaux de l'articulation vocalique ("ceux qui assument le travail essentiel" 1963:92). Or, cette réduction aux muscles abaisseurs ne semble pas correcte pour décrire la production des voyelles. Honda et al. (1995) notent qu'une modélisation articulatoire de la forme et la position de la langue pour les voyelles nécessite au moins 4 muscles : le genioglosse antérieur, le genioglosse postérieur, le hyoglosse et le styloglosse. Ces quatre muscles forment deux couples agoniste/antagoniste qui vont contrôler les mouvements de la langue : genioglosse postérieur + hyoglosse, pour direction frontale haute/arrière basse ; genioglosse antérieur + styloglosse, pour la direction frontale basse/arrière haute. Pour la production de la voyelle fermée antérieure /i/, le muscle principalement actif est le genioglosse postérieur dont la contraction provoque une protrusion de la langue vers l'avant [Lieberman & Blumstein 1988, Payan & Perrier 1996, voir aussi UCLA 1990 ouvrage collectif]. Une augmentation de la contraction musculaire en position initiale dans un constituant supérieur pourrait donc provoquer une plus grande protrusion de la masse de la langue qui se traduirait par une antériorisation de l'articulation et une diminution de l'aperture dans la partie antérieure du conduit vocal. En conséquence la quantité de contact sur le palais augmenterait comme cela a été observé en position supérieure (GAi-GIi) dans mon étude.

- La glottalisation ou laryngalisation d'une voyelle initiale correspond à une modification de sa constriction glottale. Pour Lehiste (1964), l'insertion d'un coup de glotte ou la laryngalisation d'une partie de la voyelle correspond à l'insertion d'un segment supplémentaire, un segment frontière ("boundary segment"), qui sert à délimiter le constituant. Sans avoir recourt à la production d'un segment supplémentaire, la glottalisation en position initiale peut aussi être expliquée par un renforcement. Si l'augmentation de la force articulatoire affecte la tension des muscles du larynx et en particulier le degré de constriction des aryténoïdes, la vibration des cordes vocales pour la voyelle initiale sera perturbée. Un coup de glotte apparaîtra si les aryténoïdes se rapprochent de façon telle qu'une occlusion glottale se forme. Une laryngalisation de la voyelle ("creaky voice") apparaîtra si le rapprochement des aryténoïdes ne permet qu'à une petite partie des cordes vocales de vibrer librement [Ladefoged & Maddieson 1995]. Une telle explication a été proposée par Vaissière (1986a, 1988) sous les termes de "tension initiale" pour expliquer la perturbation des vibrations des cordes vocales que l'on peut observer en début de Mot (glottalisation des voyelles initiales, dévoisement partiel des consonnes voisées ("lax") et aspiration des consonnes sourdes ("tense") en anglais).

Une augmentation de la contraction musculaire apparaît donc comme un mécanisme pouvant expliquer les variations articulatoires observées en début de constituant prosodique. Pour vérifier cette hypothèse un examen des variations de la contraction musculaire en fonction de la position prosodique devra être effectué dans le futur sur des données électromyographiques. Une modélisation articulatoire mettant en jeu la co-contraction musculaire et la spécification des cibles d'équilibre comme celle développée par Perrier et al. (1996 a et b) permettrait aussi de comprendre en quoi consistent les variations articulatoires en fonction de la position prosodique au niveau du contrôle moteur. Ces auteurs distinguent deux types de variations : des variations planifiées au niveau central par la spécification des points d'équilibre associés aux phonèmes qui sont fonction du contexte phonétique ; des variations liées au système périphérique qui sont celles conditionnées par la prosodie (accent focal et débit). L'hypothèse du point d'équilibre suppose que le contrôle du mouvement consiste en une spécification de positions d'équilibre successives, de leur organisation temporelle et de leur niveau de co-contraction. Dans une suite phonémique, les cibles d'équilibre restent les mêmes et seuls le niveau de co-contraction et l'organisation temporelle du "central equilibrium command" ou "prosodic central command" sont ajustés pour les besoins prosodiques de débit ou d'accent. Les variations de l'articulation vocalique sous l'accent focal sont ainsi modélisées par une variation de la force de co-contraction [Perrier et al. 1996b]. Il serait donc intéressant d'analyser si les variations articulatoires en fonction de la position prosodique sont aussi fonction d'un ajustement de la co-contraction musculaire en position initiale.

La compréhension du mécanisme physiologique gouvernant les variations articulatoires en position initiale soulève également la question de savoir quels articulateurs et muscles sont affectés. Straka (1963) pense que seuls les muscles entrant dans l'articulation du segment sont affectés par le renforcement articulatoire. Or, il est possible que le début d'un constituant soit marqué par une augmentation de la tension musculaire globale de tout l'appareil de production. Comme cela a été proposé par Vaissière (1986a) pour le début de Mot, tout le mécanisme de production peut subir une augmentation de tension. Pour déterminer ceci, il faudrait étudier le comportement d'un articulateur inactif dans la production du segment initial. Par exemple, l'observation des variations d'activité EMG des lèvres lors de la production d'une consonne non labiale (ex. /t/) me permettrait de déterminer si tous les articulateurs/muscles sont affectés par le renforcement local en position initiale. La présence d'une élévation supplémentaire du velum pour les consonnes orales en début de Mot [p. ex. Benguerel 1977] laisserait à penser que le renforcement articulatoire initial affecte tout l'appareil de production. Pourtant, il n'est pas certain que le velum soit un articulateur inactif lors de la production des segments non-nasals car le levator-palatini se contracte toujours lors de la production des consonnes orales [Lieberman & Blumstein 1988:123].

C3.b. Un renforcement articulatoire local en position initiale dépendant du niveau prosodique du constituant

Mes résultats et ceux de plusieurs auteurs (voir introduction) montrent que la façon dont un locuteur articule un segment varie en fonction de la position de ce dernier dans la structure prosodique d'un énoncé. Les variations articulatoires produites sont parfois décrites sous les termes "d'allophones initiaux" ou "d'allophones positionnels". Il est peu probable que tous les allophones initiaux soient stockés individuellement pour chaque entrée lexicale. D'autant plus que la réalisation de ces allophones est optionnelle et qu'elle varie graduellement en fonction du niveau prosodique du constituant. D'autre part nous avons vu que, même si la forme que prennent ces variations initiales dépend des segments (surface d'occlusion, asymétrie, valeur de débit d'air, glottalisation...), chaque articulateur affecté varie dans la même direction pour tous les segments (élévation de la langue, abaissement du velum...). L'amplitude des variations est aussi contrainte par le degré de liberté des articulateurs et des segments. *Il semble donc plus raisonnable de penser que ces variations sont contrôlées par un mécanisme physiologique global qui agit à un niveau supérieur dans le contrôle moteur de la parole.* Les variations segmentales ne sont pas spécifiques à chaque segment ou à chaque entrée lexicale, mais sont la conséquence d'une modification physiologique particulière à la position initiale.

En introduction, j'ai insisté sur le fait que les termes "renforcement" ou "force" ont été utilisés de façon imprécise, pour décrire des variations acoustiques ou articulatoires diverses et ont soulevé de nombreuses controverses. Cette étude ne me permet pas, non plus, de définir avec précision le mécanisme physiologique gouvernant la force articulatoire. Néanmoins, *l'hypothèse d'un renforcement articulatoire en tant qu'augmentation de la contraction musculaire, me semble être un mécanisme unifiant pouvant expliquer les variations observées en début de constituants prosodiques.*

L'idée d'un renforcement articulatoire a été avancée dans la littérature pour expliquer les caractéristiques articulatoires des segments décrits comme fortis et des segments en parole renforcée. Elle est donc appliquée soit à un segment, soit à un style de parole. Vaissière (1986a, 1988) a proposé que la position initiale dans un Mot (entre autres) soit spécifiée par un trait prosodique [+ strong] qui permet d'expliquer les variations articulatoires dans cette position. Dans mon étude, je confirme cette idée en montrant que le renforcement articulatoire peut être un *phénomène local* associé à une position particulière dans la structure prosodique : la position initiale. Mes données apportent une contribution supplémentaire en suggérant que le renforcement en position initiale s'applique *dans des constituants de plusieurs niveaux prosodiques et pas seulement au niveau du Mot/Syllabe.* Nous avons vu que les variations articulatoires sont fonction du niveau prosodique. Leur amplitude est plus importante au début d'un constituant supérieur qu'au début d'un constituant inférieur. *Le degré de renforcement articulatoire en position initiale serait donc fonction du niveau du constituant.* La distinction entre frontières prosodiques consisterait alors en une augmentation graduelle du renforcement articulatoire des débuts de constituants inférieurs aux débuts de constituants supérieurs.

III. FONCTIONS LINGUISTIQUES POSSIBLES DES VARIATIONS ARTICULATOIRES AU DEBUT DE CONSTITUANTS DE DIFFERENTS NIVEAUX

Les variations articulatoires observées en début de constituants sont le reflet de l'encodage de la structuration prosodique d'un énoncé au niveau de la production. Elles sont produites par les locuteurs à des positions particulières dans la structure prosodique de la phrase. En général dans la parole, lorsque un phénomène est produit et qu'il apparaît régulièrement, il n'est pas produit gratuitement. Même s'il n'est pas réalisé en vue d'un "output" particulier, il peut être intégré dans le système de la langue et s'y voir attribuer une fonction linguistique. Si l'on considère que la parole est régie par un principe d'économie de l'effort [Martinet 1955, Lindblom 1963], les variations articulatoires observées en position initiale vont dans le sens opposé. Une augmentation de la constriction linguale, une contraction plus forte au niveau du velum ou de la glotte, sont des actions qui

requièrent un effort supplémentaire. Il reste donc à savoir si ces variations articulatoires, "coûteuses" au niveau de la production, peuvent être utiles d'un point de vue linguistique.

Les variations articulatoires en début de constituants peuvent être utiles à l'auditeur de deux manières :

1. Elles peuvent servir à marquer les frontières prosodiques en apportant des indices perceptifs particuliers associés à la frontière en question. Ces indices se joindraient à ceux donnés par la f_0 , l'allongement ou la pause et pourraient être utilisés par l'auditeur dans sa tâche de segmentation prosodique du continuum de parole. Par exemple, la présence d'un allophone initial dans le continuum de parole est un indice utilisable par l'auditeur pour identifier une frontière de Mot [Nakatani & Dukes 1977, Church 1987]. Il s'agira alors de montrer comment les variations articulatoires graduelles réalisées au début des constituants supérieurs au Mot peuvent être des indices de frontières utiles à l'auditeur.
2. Elles peuvent aussi faciliter la reconnaissance lexicale si elles mettent en valeur la saillance du segment initial. La position initiale dans un Mot est considérée comme un "îlot informatif" [Gow et al. 1996]. Dans cette position, les erreurs de production ou les distorsions ont un coût perceptif important sur la reconnaissance d'un mot. D'autre part, nous avons vu que les débuts de Mot sont particulièrement résistants aux réductions phonologiques, de ce fait leur forme de surface diffère peu de la forme sous-jacente stockée dans le lexique (voir introduction III.D). L'information portée par les segments en position initiale peut donc servir à faciliter l'accès aux entrées lexicales. Il s'agira alors de voir si les variations articulatoires observées mettent en valeur les propriétés acoustiques et/ou renforcent la résistance des segments en début de constituants supérieurs.

III.A. Des variations acoustiques perceptibles et utilisables en début de constituants de différents niveaux ?

Dire que les variations articulatoires conditionnées par la position prosodique ont une fonction linguistique présuppose que ces variations ont des corrélats acoustiques perceptibles et utilisables par l'auditeur⁵⁷. Dans cette étude je n'ai pas vraiment cherché à trouver les corrélats acoustiques des variations articulatoires observées. Puisque l'effet de la position prosodique affecte plusieurs articulateurs (et peut-être tout l'appareil de production), ses corrélats acoustiques peuvent être multiples et variés. Je n'ai étudié que les variations de quelques paramètres acoustiques (la durée, l'énergie des sonnantes, les caractéristiques spectrales et de l'attaque de la voyelle /i/) pour déterminer s'ils étaient affectés par la position prosodique du segment. Mes résultats montrent que ces paramètres acoustiques peuvent être affectés par la position prosodique. Mais les variations acoustiques ne permettent pas de distinguer autant de positions prosodiques que ne le permettent les variations articulatoires. Aucun de ces paramètres n'apparaît comme "le" corrélat acoustique des variations articulatoires.

Pour la durée des consonnes et l'énergie acoustique des sonnantes, j'observe un effet de la position prosodique, mais les variations ne suivent que partiellement la hiérarchie des constituants. En fait, ces variations sont associées à des positions particulières : la position GAi pour la durée, la position GIi pour l'énergie. Pourtant, ces variations acoustiques peuvent être des indices utilisables par l'auditeur :

- Plusieurs études ont montré que les auditeurs peuvent se servir de l'allongement final pour identifier les frontières de Mot ou de constituants supérieurs dans des séquences ambiguës [O'Connor & Tooley 1964, Lehiste 1973, Streeter 1978, Nakatani & Schaffer 1978, Rietveld 1980, Bannel & Bacri 1994 en français]. Quéné (1992) montre que l'allongement initial des consonnes est aussi un indice de segmentation en néerlandais. Dans mon étude, l'allongement initial n'apparaît clairement qu'en position GAi. Il peut donc être utile à l'auditeur pour identifier le début d'un GA. Il peut aussi contribuer à la démarcation de plusieurs niveaux de frontières si l'on considère les caractéristiques de l'intervalle temporel autour de la frontière :

⁵⁷ Dans une expérience de discrimination perceptive, nous avons trouvé (Fougeron & Steriade 1997) que la présence de variations articulatoires d'un même type (augmentation de contact, durée de l'occlusion) pouvait influencer la performance des auditeurs, sans pour autant toujours permettre de distinguer les items comparés .

Ferreira (1993) fait l'hypothèse qu'un intervalle de durée fixe est assigné à chaque fin de groupe prosodique au niveau du "générateur prosodique" [Levelt 1992]. Cet intervalle est incrémenté en fonction du poids de la frontière. Elle montre en anglais qu'à l'intérieur de cet intervalle, les durées de la pause et de l'allongement final prépausal se compensent : si l'allongement final est court, la pause sera plus longue et vice versa. Suivant cette hypothèse, une frontière prosodique pourrait être marquée temporellement sur un intervalle allant du segment final (ou syllabe finale) au segment initial (ou syllabe initiale) du constituant suivant. L'allongement initial en position GAi pourrait alors contribuer à augmenter la durée de cet intervalle pour ce niveau de frontière. La durée de l'intervalle marquant la frontière GAi est fonction de l'allongement final (+) et de l'allongement initial (++). Elle est plus courte que la durée de l'intervalle de la frontière de GI, marqué par un plus fort allongement final (++) et une pause (+++). Mais elle est plus longue que la durée de l'intervalle de la frontière de Mot, qui n'est pas marqué par un allongement final et qui n'est marqué qu'occasionnellement par un faible allongement initial (+). Si l'on considère la durée de cet intervalle, on a alors une distinction entre quatre niveaux de frontières : Syllabe (0), Mot (0 ou +), Groupe Accentuel (+++) et Groupe Intonatif (+++). Pour tester cette hypothèse, il serait intéressant d'observer s'il y a une compensation entre le degré d'allongement initial et le degré d'allongement final à la frontière de GA.

- En ce qui concerne les variations d'énergie acoustique, la distinction la plus fréquente dans mon étude apparaît entre la position GIi et la position Mi. En position GIi, une sonnante est plus distincte en terme d'énergie de la voyelle suivante. La saillance acoustique de la consonne se trouve donc renforcée par rapport à la voyelle suivante dans cette position supérieure. Les différences d'énergie relevées entre la consonne et la voyelle sont faibles en décibels : environ 8 dB en GIi. Moore (1982) indique que la plus petite différence d'énergie qui est détectable pour un bruit à bande large est de 0,5 à 1 dB, quel que soit le niveau sonore global. Pour un ton pur (à 1000 Hz), la plus petite différence détectable est de 1,5 dB pour un niveau sonore de 20 dB et de 0,3 dB pour un niveau sonore de 80 dB. Dans mes données le niveau sonore est d'environ 70 dB. La parole est un signal beaucoup plus complexe qu'un bruit à bande large ou un ton pur. Il est possible qu'une différence d'environ 8 dB entre la consonne et la voyelle en position GIi soit perceptible, mais ceci reste à vérifier. Si elle l'est, la consonne initiale, plus saillante, pourrait être identifiée plus facilement et rapidement facilitant ainsi la reconnaissance lexicale. En début de GI, l'auditeur dispose d'un nombre limité d'informations "top-down" (syntaxiques et sémantiques) pour l'aider à identifier le mot initial. Il pourrait donc se reposer sur cette information segmentale ("bottom-up") pour reconnaître l'entrée lexicale.

La glottalisation de la voyelle /i/ peut aussi contribuer à renforcer la saillance de la voyelle en position supérieure. La glottalisation d'une voyelle provoque une excitation des formants supérieurs (F4) et une diminution de la largeur de bande des formants, ce qui peut renforcer la qualité de la voyelle en rendant ses formants plus nets [p. ex. Gow et al. 1996].

Les quelques variations acoustiques étudiées peuvent donc être des indices disponibles pour identifier la frontière initiale d'un constituant et/ou faciliter la reconnaissance du segment initial dans ce constituant. Il reste à savoir si ces informations sont utilisables par l'auditeur. D'autres variations acoustiques auraient pu être étudiées. En particulier les caractéristiques spectrales des consonnes pour lesquelles j'observe des variations articulatoires régulières. J'ai examiné les caractéristiques du spectre de /n/ en fonction de la position prosodique pour un échantillon du corpus (10 répétitions du locuteur 1F). Je n'ai pu trouver de distinctions régulières entre ces spectres aux différentes positions prosodiques. La recherche de corrélats acoustiques des variations articulatoires en position initiale reste donc à compléter.

III.B. Une augmentation de la "résistance" des segments initiaux en fonction du niveau prosodique du constituant ?

Le renforcement articulatoire en position initiale peut avoir une fonction linguistique sans pour autant avoir "un" corrélat acoustique spécifique. Cette fonction peut consister à renforcer la résistance des segments initiaux aux influences réductrices de la parole. Nous avons vu en introduction que les segments placés en position initiale dans un Mot sont particulièrement résistants aux variations diachroniques et aux processus de réduction phonologiques. La position initiale dans un Mot se distingue alors des positions non initiales subséquentes où les segments peuvent être réduits. Au niveau du Mot, la résistance des segments initiaux peut ainsi faciliter la segmentation lexicale. Dans des constituants supérieurs au Mot, une résistance à la réduction des segments initiaux peut aussi servir à l'identification des frontières, cette fois prosodiques, en offrant à l'auditeur des points de segmentation qui se détachent dans un continuum de parole coarticulée.

Quelques résultats dans mon étude laissent à penser que la résistance des segments initiaux à la coarticulation varie en fonction du niveau prosodique des constituants :

- Dans la section (II.C1.e, plus haut), nous avons vu qu'il y a peu de chevauchement temporel entre les deux membres d'un groupe de consonnes initial /kl/ dans tous les constituants examinés. Mais lorsqu'il apparaît, ce chevauchement (cas de double occlusion) est plus fréquent en position Mi qu'en position GIi. En position supérieure, le relâchement de la consonne (portant les indices de sa place d'articulation p. ex.) est donc rarement masqué par l'occlusion antérieure de /l/.
- Pour la voyelle /i/, j'observe également une variation du chevauchement en fonction de la position prosodique. La voyelle, entourée de deux consonnes labiales, a un F3 qui augmente progressivement de la position Mi à GAi à GIi. J'interprète cette variation de F3 comme une variation de labialisation contextuelle de /i/. En position Mi /i/ a un F3 plus bas et est donc plus labialisée qu'en début de constituants supérieurs. La labialisation est moins importante en GAi et encore moins en GIi.

Ces deux faits suggèrent que les degrés de chevauchements temporel et spatial entre le segment initial et son contexte est moins important au début d'un constituant supérieur. A ma connaissance, il n'y a pas eu d'étude systématique montrant que la perméabilité d'un segment initial à l'influence coarticulatoire contextuelle diminue en début de constituants supérieurs. Ceci devra être examiné plus en détail. La résistance des segments initiaux en fonction du niveau prosodique pourra aussi être étudiée en utilisant un autre facteur de variation (p. ex. le débit) pour examiner s'il y a moins de réduction dans certaines positions.

La résistance des segments initiaux peut aussi constituer un "frein" à l'application de certaines règles phonologiques en fonction du niveau du constituant [p. ex. voir Jun 1995 pour le "lenis stop voicing rule" en coréen].

Un phénomène comme la liaison en français est un indice de la structuration orale de la parole, comme le note Lucci :

"On pourrait alors avancer l'hypothèse que les liaisons les plus fluctuantes, c'est à dire celles appelées "facultatifs", participent, au même titre que les pauses, les variations intonatives, les accents de groupes rythmiques ou didactiques, et de manière concomitante, au découpage "à l'oreille" du flux sonore, en fonctionnant comme des marques de rupture ou d'enchaînement (on pourrait dire des "jonctions")." [Lucci 1983: 235]

En effet, la réalisation de la liaison facultative est conditionnée par le niveau prosodique des constituants : elle est réalisée plus fréquemment entre constituants inférieurs qu'entre constituants supérieurs [Nespor & Vogel 1986, Encrevé 1988, DeJong 1991, Wauquier 1996]. Les variations articulatoires glottales observées pour la voyelle initiale /i/ (glottalisation) peuvent contribuer au marquage des frontières entre constituants supérieurs en bloquant la liaison entre ces constituants. Pour l'auditeur, la non réalisation d'une liaison facultative sera donc un indice de frontière entre ces derniers. La contribution des variations articulatoires à l'application des phénomènes

phonétiques et phonologiques marquant la cohésion au sein d'un constituant et/ou la démarcation entre constituants est une perspective de recherche qui me semble intéressante à poursuivre.

Les suggestions que j'ai présentées ici nécessitent une expérimentation plus complète pour être vérifiées. Il est certain que les variations articulatoires sont produites par les locuteurs à des positions spécifiques dans la structure prosodique. Ces variations sont des détails articulatoires. Elles peuvent avoir des corrélats acoustiques perceptibles, mais il reste à déterminer lesquels et s'ils sont utilisés par les auditeurs pour la reconnaissance lexicale et/ou pour la segmentation en groupes prosodiques.

CHAPITRE VII : CONCLUSION

Dans ce travail, je me suis intéressée aux relations entre l'aspect segmental et l'aspect suprasegmental de la parole. J'ai cherché, en particulier, à démontrer que les caractéristiques suprasegmentales relatives à la structuration prosodique d'un énoncé peuvent influencer les caractéristiques segmentales des sons qui le composent.

Pour expliquer la relation entre les deux composantes segmentale et suprasegmentale, Dell et Vergnaud (1984) comparent la parole à une chanson. Une chanson est faite d'une mélodie et de paroles. La mélodie et les paroles peuvent être étudiées séparément mais une seule de ces composantes ne peut définir la chanson en tant que telle. Cette dualité s'applique aussi à la parole. Sa compréhension ne peut pas être réduite à sa composante segmentale ou à sa composante prosodique. Bien souvent les études phonétiques se concentrent sur l'une ou l'autre de ces composantes. Or, il apparaît que les aspects segmentaux et suprasegmentaux entretiennent des rapports étroits et peuvent s'influencer l'un et l'autre. Par exemple, il est bien connu que la microprosodie des segments affecte le contour intonatif global d'un énoncé. Les consonnes sourdes provoquent une discontinuité de la f_0 et une élévation de la f_0 de la voyelle suivante alors que les consonnes voisées provoquent un abaissement de sa f_0 [voir p. ex. Hombert et al. 1979]. Dans cette thèse, j'apporte des éléments nouveaux renforçant l'idée que la composante prosodique affecte aussi la composante segmentale de la parole :

- (1) Je confirme que l'articulation d'un segment est influencée par la position qu'il occupe dans la structure prosodique d'un énoncé en français. Je montre que cet effet s'applique à des constituants de niveaux supérieurs au Mot ou à la Syllabe et que l'articulation d'un segment en position initiale varie en fonction du niveau prosodique du constituant. L'amplitude des variations articulatoires observées augmente progressivement du début d'un constituant inférieur au début d'un constituant supérieur.
- (2) Mes données articulatoires me permettent de vérifier que l'influence de la position prosodique affecte plusieurs types de segments (occlusives, fricatives, liquides, voyelles) et plusieurs types d'articulations (linguale, nasale, glottale).
- (3) Les variations articulatoires observées sont optionnelles et leur réalisation est fonction des locuteurs, des articulateurs et des segments. Toutefois, elles ne sont pas aléatoires. Elles sont gouvernées par le niveau prosodique du constituant et elles suivent une tendance régulière que j'explique par un renforcement articulatoire local et progressif.

Ces variations en position initiale sont une marque articulatoire des frontières prosodiques au début d'un constituant. Les fonctions linguistiques et les corrélats perceptifs de ces variations articulatoires restent à définir. Pourtant, l'existence de ces variations suggère qu'au niveau de la planification d'un énoncé, la position initiale dans un constituant est encodée comme un site prosodique particulier. Les variations articulatoires observées sont donc le reflet d'une "articulation segmentale de la prosodie" ou d'une "prosodie articulatoire".

J'ai limité cette étude à un des aspects de la prosodie: sa fonction démarcative. Or, comme nous l'avons vu en introduction, la prosodie est aussi la mise en valeur de syllabes particulières par la proéminence. La position d'un segment par rapport à l'accent est une position importante d'un point de vue prosodique et plusieurs études ont montré que l'accent influence l'articulation des segments. Dans cette étude, je n'ai aussi étudié qu'une position particulière dans un constituant : la position initiale. Or, la position finale dans un constituant est aussi une position frontière et cette position est connue pour être marquée par un allongement segmental et par des réductions articulatoires. Si je me suis limitée à la position initiale dans cette thèse, c'est principalement parce qu'elle a été moins étudiée. Toutefois, pour mieux comprendre les relations entre prosodie et articulation en français, il semble nécessaire d'étudier les variations articulatoires dans ces trois positions : sous l'accent, en position finale et en position initiale.

La compréhension des relations entre prosodie et articulation est au coeur de la problématique de l'interface entre phonétique et phonologie. La prosodie, en tant que structuration de la parole en constituants phonologiques, influence la réalisation phonétique des spécificités segmentales des sons de la parole. Il semble donc nécessaire de savoir quels constituants phonologiques sont pertinents pour l'implémentation phonétique, en français comme dans d'autres langues. Or, comme le note Vogel (1992), la définition des constituants prosodiques est souvent circulaire. Un constituant X est défini comme le domaine de réalisation d'un phénomène Y, et en même temps c'est l'apparition de ce phénomène Y qui définit le domaine X comme un constituant. J'ai essayé ici d'éviter ce problème de circularité en définissant les constituants étudiés à partir de critères phonétiques suprasegmentaux supposés indépendants des variations articulatoires observées. Les résultats obtenus me permettent d'affirmer que certains de ces constituants sont marqués par une modification articulatoire en position initiale. Celle-ci apparaît dans plusieurs constituants et notamment dans des constituants supérieurs au Mot (i.e. des constituants répondant à une structuration d'un plus haut niveau que le niveau lexical). Par contre, la variabilité de l'apparition de ces modifications articulatoires ne me permet pas d'identifier un nombre fini de constituants sur la base des caractéristiques articulatoires de leur segment initial. Toutefois, les phrases que j'ai utilisées dans cette étude sont limitées. Il serait nécessaire d'étudier ce phénomène avec les mêmes types de constituants mais dans des phrases plus variées, des séquences ambiguës ou des phrases dont la structuration prosodique n'est pas congruente à la structuration syntaxique, par exemple. D'autres constituants devront aussi être examinés (l'Énoncé, p. ex.). Par ailleurs, ce phénomène doit être vérifié dans un autre style de parole, en parole continue particulièrement. Un examen de la fréquence de la glottalisation initiale comme celle de Dilley et al. (1996) en anglais est un paradigme envisageable en français.

La contribution principale de cette thèse est, à mon avis, d'avoir montré que la structuration prosodique d'un énoncé en constituants de différents niveaux est réalisée dans la production des segments placés en position initiale dans ces constituants.

Toutefois, ce travail a laissé plusieurs questions en suspend, auxquelles j'essaierai de répondre dans mes futurs projets de recherches :

- Le domaine de réalisation de l'effet de la position prosodique sur l'articulation reste à définir plus clairement. L'examen de constituants commençant par un mot grammatical est essentiel pour savoir si cet effet s'applique au segment initial absolu du constituant (à la frontière gauche).
 - Nous avons vu qu'une augmentation de la contraction musculaire est un mécanisme possible pour expliquer les variations articulatoires observées en début de constituants prosodiques. Cette hypothèse doit être vérifiée par un examen des variations de la contraction musculaire en fonction de la position prosodique. Par exemple, l'observation de l'activité EMG des lèvres, pour une consonne labiale ou une voyelle arrondie initiale placée dans des constituants de différents niveaux, apporterait une réponse à cette hypothèse. Il serait aussi nécessaire d'étudier l'effet de la position prosodique sur d'autres types de voyelles initiales (voyelles d'arrière, voyelles ouvertes) pour déterminer le sens des variations et les types de muscles affectés par le renforcement. En particulier, il faudrait déterminer quels muscles sont affectés par le renforcement articulatoire : les agonistes seuls ou le couple agoniste/antagoniste (qui pourrait s'annuler mutuellement). Enfin, pour contrôler si le renforcement articulatoire n'affecte que les muscles actifs dans la production du segment initial ou s'il affecte tout l'appareil phonatoire, il faudrait examiner l'activité musculaire d'un articulateur inactif dans l'articulation du segment considéré (les lèvres pour /t/ p. ex.).
- L'effet global de la position prosodique sur plusieurs articulateurs, devra aussi être vérifié sur d'autres articulateurs comme les lèvres et la mâchoire. Dans cette étude, les articulations linguale, nasale et glottale ont été observées dans des expériences séparées, avec des techniques d'investigation différentes et plus ou moins indirectes. Un examen de l'influence de la position prosodique, dans une expérience comparant les variations simultanées des différents articulateurs (avec un articulographe, p.ex.), permettrait d'observer les interactions entre ces derniers (la langue et le velum, p. ex.) et d'éventuelles compensations (la langue et la mâchoire, p. ex.).

- L'examen des variations articulatoires en position initiale dans plusieurs constituants a montré des ressemblances avec celles observées par certains auteurs sous l'accent. En français, les quelques études que j'ai pu trouver sur les variations articulatoires sous l'accent concernent l'accent final. Or en français, cet accent est démarcatif. Il est donc aussi une marque de frontière. Il semble nécessaire d'examiner plus en détail si les accents focal, initial et final ont la même influence sur l'articulation des segments. Une comparaison avec les variations articulatoires observées en position initiale de constituant, permettra de mieux comprendre l'influence de la prosodie sur l'articulation. En particulier, il serait intéressant de déterminer si ces variations articulatoires (sous l'accent, à la frontière) sont gouvernées par le même mécanisme physiologique, une modification de la contraction musculaire, par exemple.
- Enfin, si j'ai montré que les locuteurs "articulent" la structuration prosodique d'un énoncé, il reste à vérifier que le marquage articulatoire des frontières prosodiques a une fonction linguistique. En particulier, l'hypothèse d'une augmentation de la résistance des segments initiaux dans des constituants supérieurs devra être vérifiée. Cette résistance pourra être évaluée dans des séquences mettant en jeu une forte coarticulation (p. ex. des suites /ki-/ku/) ou en manipulant un autre facteur de variation comme le débit.
- Le français offre également d'autres perspectives de recherches intéressantes pour l'étude des relations entre prosodie et articulation. Les phénomènes phonologiques de liaison et de déletion de schwa, par exemple, impliquent la resyllabification de consonnes en position initiale dans des constituants. Ces processus sont parfois facultatifs et semblent être en partie conditionnés par la prosodie [voir Selkirk 1984, 1986, DeJong 1990 pour la liaison et Lucci 1983 pour la chute de schwa]. Puisque leurs réalisations n'apparaissent que dans certains constituants prosodiques, il serait intéressant d'examiner si ces segments initiaux dérivés subissent les mêmes variations articulatoires que les segments initiaux sous-jacents et si les segments initiaux sous-jacents perdent leur marque articulatoire en même temps que leur statut de frontière prosodique. Des études de ce type contribueraient à la motivation phonétique d'un modèle de phonologie prosodique du français.

BIBLIOGRAPHIE

Abréviations :

ASA : Acoustical Society of America meeting
C.U.P. : Cambridge University Press
GALF : Groupement des Acousticiens de Langue Française
ICPhS : International Congress of Phonetic Sciences
ICSLP : International Conference on Spoken Language Processing
JASA : Journal of the Acoustical Society of America
JEP : Journées d'Études sur la Parole
JSHR : J. of Speech and Hearing Research
LSA : Linguistic Society of America meeting
MIT QPR : MIT Quarterly Progress Report
Papers in Lab. Phon. : Papers in Laboratory Phonology
Speech Comm. : Speech Communication
STL-QPSR : Speech Trans. Lab. Quarterly Progress and Status Report, Stockholm
W.P. : Working Papers

1. Abry C., B. L.-J., Corsi P., Descout R., Gentil M., & Graillot P., (1980). Labialité et Phonétique. Grenoble: Publ. U. de Grenoble.
2. Bagley, W. A. (1900) The apperception of the spoken sentence: a study in the psychology of language. *American J. of Psychology*, **12**, 80-130.
3. Bannel, M.H. & Bacri, N. (1994). Accent, durées syllabiques et segmentation lexicale. *Actes des XXèmes JEP*, 505-510. Tregastel, France.
4. Barry, M. (1991) Temporal modelling of gestures in articulatory assimilation. *Proceedings of the XIIth ICPhS*, **4**, 14-17. Aix en Provence, France.
5. Beckman, M. (1986). Stress and non-stress accent. Dordrecht: Foris Publication.
6. Beckman, M. & Edwards, J. (1990). Lengthening and shortening and the nature of prosodic constituency. In J. Kingston & M. Beckman (eds.) Papers in Lab. Phon. I: Between Grammar and the Physics of Speech, 152-178. Cambridge: C.U.P.
7. Beckman, M. & Edwards, J. (1994). Articulatory evidence for differentiating stress categories. In P.A. Keating (ed.) Papers in Lab. Phon. III: Phonological structure and phonetic form, 7-33. Cambridge: C.U.P.
8. Beckman, M. & Pierrehumbert, J. (1986). Intonational structure in Japanese and English. *Phonology Yearbook*, **3**, 255-309.
9. Beckman, M., Edwards, J., and Fletcher, J. (1992). Prosodic structure and tempo in a sonority model of articulatory dynamics. In G. Docherty and D. R. Ladd (eds.) Papers in Lab. Phon. II: Gesture, Segment, Prosody, 68-86. Cambridge: C.U.P.
10. Bell, A. & Hooper, J. (1978). Issues and evidence in syllabic phonology. In A. Bell & J. Hooper (eds.) Syllables and segments, 3-24. Amsterdam: North-Holland Publishig Co..
11. Bell-Berti, F. (1973). The velopharyngeal mechanism: an electromyographic study. PhD diss., U. New York (distributed as *Haskins Lab. Status Repport*, suppl. 1973)
12. Bell-Berti, F. (1976). An electromyographic study of the velopharyngeal function in speech. *JSHR*, **19**, 225-240.
13. Bell-Berti, F. (1993). Understanding velic motor control: studies of segmental context. In M. K. Huffman & R. A. Krakow (eds.) Nasals, nasalisation and the velum, 63-86. San Diego: Academic Press.
14. Bell-Berti, F. & Hirose, H. (1975). Palatal activity in voicing distinctions: a simultaneous fiberoptic and EMG study. *J. of Phonetics*, **3**, 69-74.
15. Benguerel, A.-P. (1973). Corrélat physiologiques de l'accent en francais. *Phonetica*, **27**, 21-35.
16. Benguerel, A.-P. (1977). Velar coarticulation in French: a fiberscopic study. *J. of Phonetics*, **5**, 145-158.
17. Boë et al. (1993). Speech Maps Interactive Plant "SMIP". ESPRIT/BR n°6975.

18. Boë, L.-J., Perrier, P. & Bailly, G. (1992). The geometric vocal tract variables controlled for vowel production : proposals for constraining acoustic-to-articulatory inversion. *J. of phonetics*, **20**, 27-38.
19. Bolinger, D. (1958). A theory of pitch accent in English. *Word*, **14**, 109-149.
20. Bonnot, J.F.P., Chevrie-Muller, C., Arabia-Guidet, C., Maton, B. & Grenier, G.F. (1986). Coarticulation and motor encoding of labiality and nasality in CVCVCV nonsense words. *Speech Comm.*, **5**, 83-95.
21. Bourciez, E. & Bourciez, J. (1967). Phonétique française, étude historique. Paris: Klincksieck.
22. Briclher-Labaeye, C. (1970). Les voyelles françaises : mouvements et positions articulaires à la lumière de la radiocinématographie. Paris: Klincksieck. (et Thèse de doctorat, U. de Strasbourg)
23. Browman, C. (1978). Tip of the tongue and slip of the ear: implications for language processing. *UCLA W.P.*, **42**.
24. Browman, C. (1994). Lip aperture and consonant releases. In P.A. Keating (ed.) Papers in Lab. Phon. III: Phonological structure and phonetic form, 331-353. Cambridge: C.U.P.
25. Browman, C. (1995) Assimilation as gestural overlap: comments on Holst and Nolan. In B. Connell & A. Arvaniti (eds.) Papers in Lab. Phon. IV: Phonology and Phonetics Evidences, 334-341. Cambridge: C.U.P.
26. Browman, C. & Goldstein, L. (1992). Articulatory Phonology: An Overview. *Phonetica*, **49**, 155-180.
27. Browman, C. & Goldstein, L. (1995). Gestural syllable position effects in American English. In F. Bell-Berti & L.J. Raphael (eds.) Producing speech: A Festschrift for Katherine Safford Harris, 19-34. Woodbury, N.Y.: American Institute of Physics Press.
28. Brown, R. & McNeill, D. (1966). The "tip-of-the-tongue" phenomenon. *J. of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **5**, 325-337.
29. Brunot, F. & Bruneau, C. (1937). Précis de grammaire historique de la langue française. Paris: Masson.
30. Butcher, A. & Weiher, E. (1976). An electropalatographic investigation of coarticulation in VCV sequences. *J. of Phonetics*, **4**, 59-74
31. Byrd, D. (1994). Articulatory timing in English consonant sequences. PhD. diss., UCLA (distributed as *UCLA W.P.*, **86**)
32. Byrd, D. (1996). Influences on articulatory timing in consonant sequences. *J. of Phonetics*, **24** (2), 209-244.
33. Byrd, D., Flemming, E., Mueller, C. & Tan C-C. (1995). Using regions and indices in EPG data reduction. *JSHR*, **38**, 821-827.
34. Byrd, D., Kaun, A., Narayanan, S. & Saltzman, E. (1996). Phrasal signatures in articulation. Paper presented at the *5th conference on Lab. Phon.*, Evanston, USA. (to appear in *Papers in Lab. Phon. V*).
35. Byrd, D. & Saltzman, E. (1996). Distinguishing multiple prosodic boundaries in articulatory kinematics and dynamics. *JASA*, **100** (4 pt.2), 2823.
36. Byrd, D. & Saltzman, E. (1998). Intra-gestural dynamics of multiple prosodic boundaries. *Journal of Phonetics*, in press.
37. Carlson, R. & Grandström, B. (1973). Word accent, emphatic stress, and syntax in a synthesis by rules scheme for Swedish. *STL-QPSR*, **2/3**, 31-35.
38. Caspers, J. & van Heuven, V. J. (1991). Phonetic and linguistic aspects of pitch movements in fast speech in Dutch. *Proceedings of the 12th ICPHS*, **5**, 174-77. Aix en Provence, France.
39. Caspers, J. & van Heuven V.J. (1995). Effects of time pressure on the choice of accent-lending and boundary-marking pitch configuration in Dutch. *Proceedings of Eurospeech*, **2**, 1001-1004. Madrid, Spain.
40. Chafcouloff M. (1980). Les caractéristiques acoustiques de /j, w, l, r/ en français. *Travaux de l'Inst. de Phon. d'Aix*, **7**, 7-56.
41. Chafcouloff M., Marchal. A. & Benkirane. T. (1989). Coarticulatory patterns in stop sequences. *Proceedings of Eurospeech*, **2**, 304-307. Paris, France.
42. Chlumsky G. (1938). Radiografie Francouzských Samohlasek a Polosamohlasek. Prague: Czeck Academy.
43. Cho, T. (1998) Domain-initial articulatory strengthening in the prosodic hierarchy in Korean. *Proceedings of the 11th International Conference on Korean Linguistics (ICKL)*, 363-372. Hawaii, USA.
44. Cho, T. & Keating, P. (1998, in prep.). Articulatory and acoustic studies of domain-initial strengthening in Korean. *Unpublished manuscript, UCLA*.
45. Chomsky, N. & Halle, M. (1968). The sound pattern of English. New York: Harper & Row.
46. Church, K.W. (1987). Phonological parsing and lexical retrieval. In U. Frauenfelder & L. Komisarjewsky-Tyler (eds.) *Spoken word recognition. Cognition*, **25**, 53-69.
47. Clements, G.N. & Keyser, S.J. (1983). CV phonology: a generative theory of the syllable. Cambridge, Mass.: MIT Press.
48. Cohn, A. C. (1990). Phonetic and phonological rules of nasalization. PhD diss., UCLA (distributed as *UCLA W.P.*, **76**)
49. Cohn, A. C. (1993). Nasalisation in English: phonology or phonetics. *Phonology*, **10**, 43-81.
50. Cole, R.A. & Jakimik, J. (1980). Understanding speech: how words are heard. In G. Underwood (ed.) Strategies of information processing, 133-163. London: Academic Press.

51. Cooper, A. (1991). Laryngeal and oral gestures in English /p, t, k/. *Proceedings of the 12th ICPHS*, **2**, 50-53. Aix en Provence, France.
52. Cooper, W.E. (1976). Syntactic control of timing in speech production. PhD diss., MIT.
53. Cooper, W.E. & Paccia Cooper J. (1980) Syntax and speech. Cambridge Mass.: Harvard U. Press.
54. Crompton A. (1980). Timing Patterns in French. *Phonetica*, **37**, 205-234.
55. Crystal T. & House A. S. (1990). Articulation rate and the duration of syllables and stress groups in connected speech. *JASA*, **88** (1), 101-112.
56. Dart, S. N. (1991). Articulatory and acoustic properties of apical and laminal articulations. PhD diss., UCLA (distributed as *UCLA W.P.*, **79**)
57. Darwin, E. (1806). The poetical works of Erasmus Darwin with philosophical notes and plates. London: Johnson.
58. Debrock, M. (1977). An acoustic correlate of the force of articulation. *J. of Phonetics*, **5**, 61-80.
59. De Jong, D. (1991). La liaison à Orleans (France) et à Montreal (Quebec). *Proceedings of the 12th ICPHS*, **3**, 198-201. Aix en Provence, France.
60. De Jong, K. (1995). The supraglottal articulation of prominence in English: Linguistic stress as localized hyperarticulation. *JASA*, **97** (1), 491-504.
61. De Jong, K., Beckman, M. E. & Edwards, J. (1993). The interplay between prosodic structure and coarticulation. *Language and Speech*, **36** (2, 3), 197-212.
62. Delais-Roussarie, E. (1995). Pour une approche parallèle de la structure prosodique. Thèse de doctorat, U. Toulouse-le Mirail.
63. Delattre, P. (1940a). La force d'articulation consonantique en français. *The French Review*, **14**, 220-232
64. Delattre, P. (1940b). Le mot est-il une entité phonétique en français. *Le Français Moderne*, **8** (1), 47-56
65. Delattre, P. (1938). L'accent final en français: accent d'intensité, accent de hauteur, accent de durée. *The French Review*, **12** (2), 141-145
66. Delattre, P. (1939). Accent de mot et accent de groupe. *The French review*, **13** (2), 1-6
67. Delattre, P. (1965). Comparing the phonetic features of English, French, German and Spanish: an interim report. New York: Chilton Books
68. Delattre, P. (1966). Les dix intonations de base du français. *The French Review*, **40** (1), 1-14
69. Delattre, P.C., Liberman, A.M. & Cooper, F.S. (1955). Acoustic loci and transitional cues for consonants. *JASA*, **27**, 769-773.
70. Dell, F. (1984). L'accentuation dans les phrases en français. In Dell F., Hirst D., Vergnaud J.R. (eds.) La forme sonore du langage : la nature des représentations en phonologie. Paris: Herman.
71. Dell, F. & Vergnaud, J.R. (1984). Les développements récents en phonologie, quelques idées centrales. In Dell F., Hirst D., Vergnaud J.R. (eds.) La forme sonore du langage : la nature des représentations en phonologie. Paris: Herman.
72. Di Cristo, A. (1978) De la microprosodie à l'intonosyntaxe. Thèse de doctorat, U. de Provence. (publiée en 1985)
73. Di Cristo, A. & Hirst, D. (1993). Rythme syllabique, rythme mélodique et représentation hiérarchique de la prosodie du français. *Travaux de l'Inst. de Phon. d'Aix*, **15**, 9-24.
74. Di Cristo, A. & Hirst, D. (1996). Vers une typologie des unités intonatives du français. *Actes des XIe JEP*, 219-222. Avignon, France.
75. Di Cristo, A. & Hirst, D. (1997) L'accentuation non-emphatique en français : stratégies et paramètres. In J. Perrot (ed.) Polyphonie pour Ivan Fonagy, 71-101. Paris: L'Harmattan.
76. Dilley, L. & Shattuck-Hufnagel S. (1996). Glottalization of word-initial vowels as a function of prosodic structure. *J. of Phonetics*, **24**, 423-444.
77. Duez, D. (1987). Contribution à l'étude de la durée vocalique, le timbre et la structure syllabique en français. Thèse de doctorat U. Aix Marseille.
78. Duez, D. (1995). On spontaneous French speech: aspects of the reduction and contextual assimilation of voiced stops. *J. of Phonetics*, **223**, 407-427.
79. Edwards, J. & Beckman, M. (1988). Articulatory timing and the prosodic interpretation of syllable duration. *Phonetica*, **45**, 156-174.
80. Encrevé, P. (1988). La liaison avec et sans enchaînement. Paris: Le Seuil.
81. Erickson, D. & Fujimura, O. (1992). Acoustic and articulatory correlates of contrastive emphasis in repeated corrections. *Proceedings of ICSLP*, 835-837. Banff, Canada.
82. Erickson, D. & Fujimura, O. (1996). Maximum jaw displacement in contrastive emphasis. *Proceedings of ICSLP (CD-Rom)*. Philadelphia, USA.
83. Fant G. & Kruckenberg A. (1991). Language specific patterns of prosodic and segmental structures in Swedish, French, and English. *Proceedings of the 12th ICPHS*, **4**, 118-121. Aix en Provence, France.

84. Farnetani, E. (1986). A pilot study of the articulation of /n/ in Italian using electropalatography and airflow measurements. *Actes des XVe J.E.P.*, 23-26. Aix en Provence, France.
85. Farnetani, E. (1988). Asymmetry of lingual movements: epg data on Italian. *Quaderni del Centro di Studio per le Ricerche di Fonetica, U. of Padova*, **VII**, 211-228.
86. Farnetani, E. (1990). V-C-V lingual coarticulation and its spatiotemporal domain. In W.J. Hardcastle & A. Marchal (eds.) *Speech Production and Speech Modelling*, 93-130. Dordrecht: Kluwer.
87. Farnetani, E., Vaggies K., Magno-Caldognetto E., (1985). Coarticulation in Italian /VtV/ sequences: a palatographic study. *Phonetica*, **42**, 78-99.
88. Farnetani, E. & Vayra. M. (1996). The role of prosody in the shaping of articulation in Italian CV syllables. *Proceedings of the 1st ESCA Workshop on Speech Production Modeling, 4th Speech Production Seminar*, 9-12. Auvers, France.
89. Faure, G. (1962). L'intonation et l'identification des mots dans la chaîne parlée (exemples empruntés à la langue française). *Proceedings of the 4th ICPhS*, 598-609. Helsinki, Finland.
90. Ferreira, F. (1993). Creation of prosody during sentence production. *Psychological Review*, **100(2)**, 233-253.
91. Flege J.E. (1982). Laryngeal timing and phonation onset in utterance-initial English stops. *J. of Phonetics*, **10**, 177-192.
92. Fletcher, J. (1991). Rhythm and final lengthening in French. *J. of Phonetics*, **19**, 193-212.
93. Fletcher, J. & Vatikiotis-Bateson, E. (1994). Prosody and intrasyllabic timing in French. *Ohio State U. W.P.*, **43**, 41-46
94. Fletcher, S. G. (1989). Palatometric specification of stop, affricate, and sibilant sounds. *JSHR.*, **32**, 736-748.
95. Fletcher, S.G. (1992). *Articulation: a physiological approach*. San Diego: Singular Publishing Group, Inc.
96. Fletcher, S. G., McCutcheon, M.J. & Wolf M.B. (1975). Research note: Dynamic Palatometry. *JSHR.*, **18**, 812-819.
97. Fougeron, C. (1993). *La coarticulation labiale entre les voyelles [i] et [y] en français*. Mémoire de DEA, U. Paris III.
98. Fougeron, C. & Jun, S.-A. (1995). Properties of French Intonation at Fast Speech Rate. *Proceedings of the 13th ICPhS*, **3**, 488-491. Stockholm, Sweden.
99. Fougeron, C. & Jun, S.-A. (1998). Rate Effects on French Intonation: Prosodic Organization and Phonetic Realization. *J. of Phonetics*, **26 (1)**, 45-70. (preliminary version in *UCLA W.P.*, **94**, 61-87 (1996))
100. Fougeron, C. & Keating, P.A. (1995). Demarcating prosodic groups with articulation. *JASA*, **97 (5 pt2)**, 3384.
101. Fougeron, C. & Keating, P.A. (1996). Articulatory strengthening in prosodic domain-initial position. *UCLA Working Papers in Phonetics*, **92**, 61-87.
102. Fougeron, C. & Keating, P.A. (1997). Articulatory strengthening at edges of prosodic domain. *JASA*, **106 (6)**, 3728-3740.
103. Fougeron, C. & Steriade, D. (1997). Does deletion of French schwa lead to neutralization of lexical distinctions? *Proceedings of Eurospeech97*, **2**, 943-946. Rhodes, Greece.
104. Fraisse, P. (1974) *Psychologie du rythme*. Paris: Presses Universitaires de France.
105. Fritzel, B. (1969) The velopharyngeal muscles in speech. *Acta Oto-Laryngology*, suppl. **250**.
106. Fromkin, V. (1965). Some phonetic specifications of linguistic units: an electromyographic investigation. *UCLA W.P.*, **3**, 1-184
107. Fry, D.B. (1958). Experiments in the perception of stress. *Language and Speech*, **1**, 126-152.
108. Fujimura, O. (1977). Recent findings on articulatory processes. In Carré, Descout & Wajskop (eds.) *Articulatory modeling and phonetics*, 115-126. Grenoble: GALF.
109. Fujimura, O. (1990). Methods and goals of speech production research. *Language and Speech*, **33(3)**, 195-258.
110. Fujimura O., Macchi M.J. & Streeter L.A. (1978). Perception of stop consonants with conflicting transitional cues: a cross-linguistic study. *Language and Speech*, **21**, 337-346
111. Fujimura, O. & Erickson, D. (1997). Acoustic phonetics. In W.J. Hardcastle & J. Laver (eds.) *The Handbook of Phonetic Sciences*, 65-115. Oxford: Blackwell.
112. Fujimura, O. & Kakita, Y. (1979). Remarks on quantitative description of the lingual articulation. In S. Ohman & B. Lindblom (eds.) *Frontiers of speech communication research*, 17-24. London: Academic Press.
113. Fujimura, O. & Lovins, J.B. (1978). Syllables as concatenative phonetic units. In Bell A. & Hooper J.B. (eds.) *Syllables and segments*, 107-120. Amsterdam: North-Holland Publishing Co..
114. Garde, P. (1968). *L'accent*. Paris: Presses Universitaires de France.
115. Garding, E. (1967) Internal juncture in Swedish. *Lund W.P.*, **VI**.
116. Gay, T. (1978) Physiological and acoustic correlates of perceived stress. *Language and Speech*, **21 (4)**, 347-353.
117. Gee, J.P. & Grosjean F. (1983). Performance Structures: a psycholinguistic and linguistic appraisal. *Cognitive Psychology*, **15**, 411-458.
118. Gendron, J.D. (1966). *Tendances phonétiques du français parlé au Canada*. Paris: Klincksieck.

119. Gibbon F., Hardcastle W.J. & Nicolaidis K. (1993). Temporal and spatial aspects of lingual coarticulation in /kl/ sequences: a cross-linguistic investigation. *Language and Speech*, **36(2-3)**, 261-277.
120. Gimson, A.C. (1980). An introduction to the pronunciation of English. London: Arnold.
121. Giot J. (1977). Etude comparative de syllabes accentuées et prétoniques du français sur les plans articuloire et acoustique. *Travaux de l'Inst. de Phon. de Strasbourg*, **9**, 89-169.
122. Givon (1975). Serial verbs and syntactic changes: Niger-Congo. In C.N. Li (ed.) Word order and word order change. Austin: U. of Texas Press.
123. Goldsmith, J. (1990). Autosegmental and metrical phonology. Oxford: Blackwell.
124. Goldstein, L. (1992). Comments on chapters 3 and 4. In G. Docherty and D. R. Ladd (eds.) Papers in Lab. Phon. II: Gesture, Segment, Prosody, 120-124. Cambridge: C.U.P.
125. Gordon, M. (1996) The effect of stress and prosodic phrasing on duration, acoustic amplitude and air flow of nasal consonants in Estonian. *UCLA W.P.*, **92**, 151-159
126. Gow, D.W. & Gordon, P.C. (1993). The distinctiveness of word onsets. *JASA*, **93 (4 pt2)**, 2371
127. Gow, D.W., Melvold J., Manuel S. (1996) How word onsets drive lexical access and segmentation: evidence from acoustics, phonology and processing. *Proceedings of ICSLP (CD-Rom)*. Philadelphia, USA.
128. Grammont, M. (1933). Traité de Phonétique. Paris: Delagrave.
129. Grosjean F. & Deschamps A. (1972). Analyse des variables temporelles du français spontanée. *Phonetica*, **26**, 129-156
130. Grosjean, F. , Grosjean, L. & Lane, H. (1979). The pattern of silences: performance structures in sentence production. *Cognitive Psychology*, **11**, 58-81.
131. Haden, E. F. (1938). The physiology of French consonant changes. *Language dissertation, Language (suppl.)*, **26**, vol.14 (4), 3-117.
132. Hardcastle, W. (1972). The use of electropalatography in phonetic research. *Phonetica*, **25**, 197-215.
133. Hardcastle, W. (1984). New methods of profiling lingual-palatal contact patterns with electropalatography. *W. P. Phonetics Lab. U. of Reading*, **4**, 1-40
134. Hardcastle, W. (1985). Some phonetic and syntactic constraints on lingual coarticulation during /kl/ sequences. *Speech Comm.*, **4**, 247-263.
135. Hardcastle, W. & Barry, W. (1985). Articulatory and perceptual factors in /l/ vocalisation in English. *W. P. Phonetics Lab. U. of Reading*, **5**, 31-44
136. Hardcastle, W., Gibbon F. and K. Nicolaidis (1991). EPG data reduction methods and their implications for studies of lingual articulation. *J. of Phonetics*, **19**, 251-266.
137. Hardcastle, W., Vaxelaire, B., Gibbon, F., Hoole, P. & Nguyen N. (1996). EMA/EMG study of lingual coarticulation in /kl/ clusters. *Proceedings of the 1st ESCA Workshop on Speech Production Modeling, 4th Speech Production Seminar*, 53-56. Autrans, France.
138. Harrington, J., Fletcher, J. & Beckman, M. (1996). Manner and place conflicts in the articulation of accent in Australian English. Paper presented at the *5th conference on Lab. Phon.*, Evanston, USA. (to appear in Papers in Lab. Phon. V).
139. Harris, J. (1990). Segmental complexity and phonological government. *Phonology*, **7**, 255-300.
140. Harris K.S., Gay T., Sholes G.N., & Lieberman P. (1968) Some stress effects on electromyographic measures of consonant articulations. *Haskins Lab. Statut Repport*, **13/14**, 137-151.
141. Hawkins, J.A. & Cutler, A. (1988). Psycholinguistic factors in morphological asymetry. In J. A. Hawkins (Ed) Explaining Language Universals, 280-317. Oxford: Blackwell.
142. Hayes, B. (1989). The prosodic Hierarchy in meter. In P. Kiparsky & G. Youmans (eds.) Phonetics and Phonology, vol. I: Rythm and meter, 47-96. New York: Academic Press.
143. Hiki, S. & Itoh, H. (1986). Influence of palate shape on lingual articulation. *Speech Comm.*, **5**, 141-158.
144. Hirst, D. & Di Cristo, A. (1984). French intonation: a parametric approach. *Die Neueren Sprachen*, **83(5)**, 554-569.
145. Hirst, D. & Di Cristo, A. (1996). Y-a-t-il des unités tonales en français?. *Actes des XIe JEP*, 223-226. Avignon, France.
146. Hirst, D. & Di Cristo, A. (eds.) (à paraitre). Intonation Systems: a survey of twenty languages. Cambridge: C.U.P.
147. Hjemslev, L. (1936). Accent, intonation, quantité. *Studi Baltici*, **66**, 1-57.
148. Hock, H. H. (1992). Initial Strengthening. In W.U. Dressler et al. (eds.) Phonologica 1988. Cambridge, Mass.: C.U.P.
149. Holst, T. & Nolan, F. (1995). The influence of syntactic structure on [s] to [ʃ] assimilation. In B. Connell & A. Arvaniti (eds.) Papers in Lab. Phon. IV: Phonology and Phonetics Evidences, 315-333. Cambridge: C.U.P.
150. Hombert, J.M., Ohala, J. & Ewan, W.G. (1979) Phonetic explanations for the development of tones. *Language*, **55**, 37-58.
151. Honda, K., Hirai, H. & Kusakawa, N. (1995). Modeling vocal tract organs based on MRI and EMG observations and its implication on brain function. *Res. Inst. of Logopedics and Phoniatics, U. Tokyo*, **27**, 37-50.

152. Hoole, P., Gfroerer, S., & Tillman H.G. (1990). Electromagnetic articulography as a tool in the study of lingual articulation. *Forschungsberichte der Universität München (FIPKM)*, **28**, 107-122.
153. Horowitz, L., Chilian, P.C. & Dunnigan, K.P. (1969). Word fragments and their redintegrative powers. *J. of Experimental Psychology*, **80**, 392-404.
154. Houde, R.A. (1967). A study of tongue body movement during selected speech sounds. PhD. diss., U. of Connecticut.
155. Hsu, C-S & Jun, S-A (1997) Prosodic strengthening in Taiwanese: Syntagmatic or paradigmatic?. Unpublished manuscript, UCLA.
156. Huber, D. (1988). Laryngealization as a boundary cue in read speech. *Lund U. W.P.*, **34**, 66-67.
157. Huffman, M. (1990) Implementation of nasal: timing and articulatory landmarks. PhD diss., UCLA (distributed as *UCLA W.P.*, **75**)
158. Inkelas, S. & Zec, D. (1990) The phonology-syntax connection. Chicago: U. Chicago Press.
159. Ito, J. & Mester, R.A. (1992). Weak layering and word binarity. U. of Santa-Cruz, ms.
160. Jaegger, J. J. (1983). The fortis/lenis question: evidence from Zapotec and Jawoñ. *J. of Phonetics*, **11**, 177-189.
161. Jakobson, R., Fant, G., & Halle, M. (1969). Preliminaries to Speech Analysis. The distinctive Features and their correlates. Cambridge, Mass.: MIT Press.
162. Jun, S.-A. (1993) The Phonetics and Phonology of Korean Prosody. PhD diss. OSU
163. Jun, S.-A. (1995). Asymmetrical prosodic effects on the laryngeal gesture in Korean. In B. Connell & A. Arvaniti (eds.) Papers in Lab. Phon. IV: Phonology and Phonetics Evidences, 235-263. Cambridge UK: C.U.P.
164. Jun, S.-A. & Fougeron, C. (1995), The Accentual Phrase and the Prosodic Structure of French, *Proceedings of the 13th ICPHS*, vol. **2**, 722-725. Stockholm, Sweden.
165. Jun, S.-A. & Fougeron, C. (1997), A Phonological model of French intonation. Poster presented in the *ESCA Workshop on Intonation*. Athenes, Greece. (to appear in A. Botinis (ed.) *Intonation Research and Applications* (temporary title), Cambridge UK: C.U.P.)
166. Kahn, D. (1976). Syllable based generalizations in English phonology. Bloomington: Indiana U. Linguistics Club.
167. Keating, P. A. (1995). Effect of prosodic position on /t,d/ tongue/palate contact. Poster presented at the *13th ICPHS* (unpublished version). Stockholm, Sweden.
168. Keating, P.A. (1997). Word-initial versus word-final consonant articulation. *JASA*, **102 (5 pt2)**, 3094.
169. Keating, P.A., Linker, W. & Huffman, M. (1983). Patterns in allophone distribution for voiced and voiceless stops. *J. of Phonetics*, **11**, 277-290.
170. Keating, P.A. & Wright, R. (1994). Effects of position-in-syllable on consonant articulation and acoustics. *JASA*, **95 (5 pt2)**, 2819.
171. Kent, R.D. & Netsell, R. (1971). Effects of stress contrast on certain articulatory parameters. *Phonetica*, **24**, 23-44.
172. Klatt, D.H. (1975). Vowel lengthening is syntactically determined in connected discourse. *J. of Phonetics*, **3**, 129-140.
173. Klich, R. J., Ireland, J.V., & Weidner W.E. (1979). Articulatory and phonological aspects of consonant substitutions in apraxia of speech. *Cortex*, **15**, 451-470.
174. Kohler, K. J. (1985). The perception of lenis and fortis plosives in French, a critical re-evaluation. *Phonetica*, **42**, 116-123.
175. Kohler, K. J. (1990). Segmental reduction in connected speech in German: phonological facts and phonetic explanations. In W.Hardcastle & A. Marchal (eds.) Speech Production and Speech Modeling, 69-992. Dordrecht: Kluwer.
176. Kohler, K. J. (1992). Gestural Reorganization in Connected Speech: A Functional Viewpoint on "Articulatory Phonology". *Phonetica*, **49**, 205-211.
177. Kohler, K. J. (1994). Glottal stops and glottalization in German. *Phonetica*, **51**, 38-51
178. Kohler, K. & Hardcastle, W. (1974). The instability of final alveolars in English and German: proposal for an instrumental investigation. *Speech Communication Seminar*, **2**, 95-98. Stockholm, Sweden.
179. Kozhevnikov, V.A. & Chistovich, L.A. (1965). Speech: articulation and perception. (US dept. of commerce, Washington D.C) JPRS, 30, 524
180. Krakow, R. A. (1989) The Articulatory Organization of Syllables: A Kinematic Analysis of Labial and Velic Gestures. PhD diss., Yale U.
181. Krakow, R. A. (1993). Nonsegmental influences on velum movement patterns : syllables, sentences, stress, and speaking rate. In M. K. Huffman & R. A. Krakow (eds.) Nasals, nasalisation and the velum, 87-116. San Diego: Academic Press.
182. Krakow, R. A., Bell-Berti F., & Wang Q. (1991). Supralaryngeal patterns of declination: labial and velar kinematics. *JASA*, **90 (4 pt.2)**, 2343.

183. Krakow, R. A., Bell-Berti, F., & Wang, Q.E. (1994). Supralaryngeal declination: evidence from the velum. In F. Bell-Berti & L.J. Raphael (eds.) Producing speech: A Festschrift for Katherine Safford Harris, 333-353. Woodbury, N.Y.: American Institute of Physics Press.
184. Krakow, R. A. & Huffman, M. K. (1993). Instruments and technique for investigating nasalisation and velopharyngeal function in the laboratory: an introduction. In M. K. Huffman & R. A. Krakow (eds.) Nasals, nasalisation and the velum, 3-62. San Diego: Academic Press.
185. Kuehn, D. P. (1976). A cineradiographic investigation of velar movement variables in two normals. *The Cleft Palate Journal*, **13**, 88-103
186. Ladd, D. R. (1984). Declination: A review and some hypotheses. *Phonology Yearbook*, **1**, 53-74
187. Ladd, D. R. (1986). Intonational Phrasing: The Case for Recursive Prosodic Structure. *Phonology Yearbook*, **3**, 311-340.
188. Ladd, D. R. (1988). Declination 'reset' and the hierarchical organization of utterances. *JASA*, **84** (2), 530-544.
189. Ladd, D. R. (1996) Intonational Phonology. Cambridge UK: C.U.P.
190. Ladd, D. R. & Campbell, W.N. (1991). Theories of prosodic structure: evidence from syllable duration. *Proceedings of the 12th ICPhS*, **2**, 290-93. Aix en Provence, France.
191. Ladefoged, P. & Maddieson, I. (1995) The sounds of the world's languages. Oxford: Blackwell.
192. Lass, R. (1984). Phonology: an introduction to basic concepts. Cambridge UK: C.U.P.
193. Lehiste, I. (1960) An acoustic-phonetic study of internal open juncture. *Supplement to Phonetica*, **5**.
194. Lehiste, I. (1961) Acoustic studies of boundary signals. *Proceedings of the 4th ICPhS*, 178-187. Helsinki, Finland.
195. Lehiste, I. (1964) Juncture. *Proceedings of the 5th ICPhS*, 172-200. Münster, Germany.
196. Lehiste, I. (1970). Temporal organization of higher level linguistic units. *Paper presented at ASA*. Atlantic City, USA. (unpublished).
197. Lehiste, I. (1972) The timing of utterance and linguistic boundaries. *JASA*, **51**, 2018-2024.
198. Lehiste, I. (1973). Phonetic disambiguation of syntactic ambiguity. *Glossa*, **7**, 107-122
199. Levac L., Cedergren H.J., Perrault H. (1993) Phonetic evidence of narrow and wide temporal scope for prosodic constituents in French. ESCA Workshop on Prosody, *Lund W.P.*, **41**, 54-57.
200. Levelt, W. J. M. (1992). Accessing words in speech production: Stages, processes and representations. *Cognition*, **42**, 1-22
201. Lewis, J., Daniloff, R., & Hammarberg, R. (1975). Apical coarticulation at juncture boundaries. *J. of Phonetics*, **3**, 1-7.
202. Liberman, M. (1975). The intonational system of English. PhD diss. MIT.
203. Liberman, M. & Prince, A. (1977). On stress and linguistic rhythm. *Linguistic Inquiry*, **8**, 249-336.
204. Lieberman, P. (1960). Some acoustic of word stress in American English. *JASA*, **32**, 451-54.
205. Lieberman, P. & Blumstein, S. (1988). Speech physiology, speech perception, and acoustic phonetics. Cambridge UK: C.U.P.
206. Lindblom, B. (1963). Spectrographic study of vowel reduction. *JASA*, **35** (11), 1773-81.
207. Lindblom, B. (1968). Temporal organization of syllable production. *STL-QPSR*, **2**, 1-5
208. Lindblom, B. (1990). Explaining phonetic variation: a sketch of the H&H theory. In W.J.Hardcastle & A. Marschal (eds.) Speech Production and Speech Modelling, 403-439. Dordrecht: Kluwer.
209. Lindblom, B. & Rapp, K. (1973) Some temporal regularities of spoken Swedish. *Papers in Linguistics, U. of Stockholm*, **21**, 1-59.
210. Lisker, L. & Abramson, A. (1967). A cross-language study of voicing in initial stops: acoustical measurements. *Word*, **20**, 384-422.
211. Lisker, L. & Baer T. (1984). Laryngeal management at utterance-internal word boundary in American English. *Language and Speech*, **27**, 163-171
212. Lubker, J.F., Fritzell, B. & Lindqvist, J. (1970). Velopharyngeal function: an electromyographic study. *STL-QPSR*, **4**, 9-20
213. Lucci, V. (1983). Etude phonétique du français contemporain à travers la variation situationnelle. Grenoble: Publ. U. de Grenoble.
214. Macchi, M. (1985) Segmental and suprasegmental features and lip and jaw articulators. PhD diss., New York U.
215. Macchi, M. (1988). Labial coarticulation pattern associated with segmental features and syllable structure in English. *Phonetica*, **45**, 109-121.
216. MacClean, M. (1973). Forward coarticulation of velar movement at marked junctural boundaries. *JSHR.*, **16**, 286-296

217. Maeda, S. (1990). Compensatory articulation during speech: evidence from the analysis and synthesis of vocal-tract shape using an articulatory model. In W.J. Hardcastle and A. Marchal (eds.) Speech production and speech modelling, 131-150. Dordrecht: Kluwer.
218. Majid, R. (1986). Modélisation articulatoire du conduit vocal. Exploration et exploitation ; Fonctions de macro-sensibilité paramétriques et voyelles du français. Thèse de doctorat, ICP Grenoble.
219. Malécot, A. (1955). An experimental study of force of articulation. *Studia Linguistica*, **9**, 35-44.
220. Malécot, A. (1960). Vowel nasality as a distinctive feature in American English. *Language*, **36**, 222-229
221. Malécot, A. (1966). Mechanical Pressure as an index of 'Force of Articulation'. *Phonetica*, **14**, 169-180.
222. Malécot, A. (1970) The lenis-fortis opposition: its physiological parameters. *JASA*, **47**, 1588-1592
223. Malmberg, B. (1943) Le système consonantique du français moderne. Leipzig: Harrassowitz.
224. Malmberg, B. (1950). The phonetic basis for syllable division. *Studia linguistica*, **IX**, 80-87
225. Malmberg, B. (1971). Voyelle, consonne, syllabe, mot. In Phonétique Générale et Romane, 131-140. The Hague-Paris: Mouton.
226. Manuel, S. (1991). Some phonetic bases for the relative malleability of syllable-final vs. syllable-initial consonants. *Proceedings of the 12th ICPHS*, **5**, 118-121. Aix en Provence, France.
227. Marchal, A. (1979). Etude des occlusives t/d du français par l'électropalatographie. *Proceedings of the 9th ICPHS*, **1**, 203. Copenhagen, Denmark.
228. Marchal, A. (1984). Le système d'électropalatographie à Montréal : contribution à l'étude des occlusives du français. *Travaux de l'Inst. de Phonétique d'Aix*, **9**, 267-341.
229. Marchal, A. (1985). La coproduction dans les groupes d'occlusives. *Actes des XIVe JEP*, 19-21. Paris, France.
230. Marchal, A. (1987). Des clics en français? *Phonetica*, **44**, 30-37.
231. Marchal, A. (1988). La palatographie. Marseille: CNRS.
232. Marchal, A. & Espesser, R. (1987) L'asymétrie des appuis linguo-palatins. *Actes des XIIe JEP*, 34-35. Hammamet, Tunisia.
233. Marchal, A. & Meynadier, Y. (1995). Contribution à l'analyse de la coarticulation linguale dans la séquence consonantique /kl/ en français. *Travaux de l'Inst. de Phonétique d'Aix*, **16**, 63-74.
234. Marslen-Wilson, W.D. (1980). Speech understanding as a psychological process. In J.C. Simon (ed.) Spoken Language Generation and Understanding. Dordrecht: Reidel.
235. Martin, P. (1987). Prosodic and rhythmic structures in French. *Linguistics*, **25**, 925-949.
236. Martinet, A. (1955) Economie des changements phonétiques : traité de phonologie diachronique. Berne: Francke SA.
237. Mc Cutcheon, M., Hasegawa, A. & Fletcher, S. (1980). Effect of palatal morphology on /s, z/ articulation. *Biocommunication Res. Rep.*, **3**, 38-47.
238. McAllister, R., Lubker, J., & Carlson, J. (1974) An IEMG study of some characteristics of the Swedish rounded vowels. *J. of Phonetics*, **2**, 267-278.
239. McGlone, R. & Proffit, W.R. (1967). Lingual pressure associated with speaker consistency and syllable variations. *Phonetica*, **17**, 178-183.
240. McGlone, R., Proffit, W.R., and Christiansen R.L. (1967). Lingual pressure associated alveolar consonants. *J. of Speech and Hearing Research*, **10** (3), 606-615.
241. Mertens, P. (1987). L'intonation du français, de la description linguistique à la reconnaissance automatique. Thèse de doctorat, U. Leuven.
242. Mertens, P. (1993). Intonational grouping, boundaries and syntactic structure in French. *ESCA Workshop on Prosody, Lund W.P.*, **41**, 155-159.
243. Meynadier, Y., Marchal, A. & Piterman, M. (1998) Frontière syllabique, accent focal contrastif et coarticulation linguale dans le groupe consonantique /kskl/ en position médiane de mot en français. *Actes des XXIIIe JEP*, 303-306. Martigny, Switzerland.
244. Moon, S-J, & Lindblom, B. (1994). Interaction between duration, context, and speaking style in English stressed vowels. *JASA*, **96** (1), 40-55.
245. Moore, B. (1982). An introduction to the psychology of hearing. London: Academic Press.
246. Nakatani, L.H. & Dukes, K.D. (1977). Locus of segmental cues for word juncture. *JASA*, **62** (3), 714-719.
247. Nakatani, L.H. & Schaffer, J.A. (1978). Hearing "words" without words: prosodic cues for word perception. *JASA*, **63** (1), 234-245.
248. Nespor, M. (1977) Segment and word durational correlates of syntactic boundaries in Italian. In R. Rodman (ed.) Explorations in Language and Linguistics. Chapel Hill: U. of North Carolina.
249. Nespor, M. & Vogel, I. (1986). Prosodic Phonology. Dordrecht: Foris Publications.

250. Nooteboom, S.G. (1972). Production and perception of vowel duration: a study of durational properties of vowels in Dutch. Ph.D. diss., Utrecht.
251. Nooteboom, S.G. (1981) Lexical retrieval from fragments of spoken words: beginnings vs. endings. *J. of Phonetics*, **9**, 407-424
252. Ohala, J.J. (1981). Articulatory constraints on the cognitive representation of speech. In T. Myers et al. (eds.) The cognitive representation of speech, 111-124. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.
253. Ohala, J. & Kawasaki, H. (1984) Prosodic phonology and phonetics. *Phonology Yearbook*, **1**, 113-127
254. Ohman, S.E.G., (1967): "Word and sentence intonation. A quantitative model." *STL-QPSR*, 20-54.
255. Oller, D. K. (1973). The effect of position in utterance on speech segment duration in English. *JASA*, **54** (5), 1235-1247.
256. Padeloup, V. (1990) Modèle de règles rythmiques du français appliquées à la synthèse de la parole. Thèse de doctorat, U. de Provence.
257. Payan, Y & Perrier, P (1996) Contrôle de la langue en parole: quelques propositions testées sur une modélisation biomécanique. *Actes des XXIème JEP*, 79-82. Avignon, France.
258. Perrier, P., Loevenbruck, H., & Payan, Y. (1996b). Control of tongue movements in speech: the equilibrium point hypothesis perspective. *J. of Phonetics*, **24**, 53-75.
259. Perrier, P., Ostry, D.J., & Laboissiere, R. (1996a). The equilibrium point hypothesis and its application to speech motor control. *JSHR*, **39**, 365-378.
260. Pierrehumbert, J. (1980), The Phonology and Phonetics of English Intonation. PhD diss., MIT.
261. Pierrehumbert, J. & Beckman, M. (1988). Japanese Tone Structure. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press.
262. Pierrehumbert, J. & Talkin, D. (1992). Lenition of /h/ and glottal stop. In G. Docherty and D. R. Ladd (eds.) Papers in Lab. Phon. II: Gesture, Segment, Prosody, 90-117. Cambridge: C.U.P.
263. Pike, K.L. (1943) Phonetics: a critical analysis of phonetic theory and a technic for the practical description of sounds. Ann Arbor: U. of Michigan Press.
264. Post, B. (1993) A Phonological Analysis of French Intonation, MA thesis, U. Nijmegen.
265. Quené, H. (1992). Durational cues for word segmentation in Dutch. *J. of Phonetics*, **20**, 331-350.
266. Recasens, D. (1984). V-to-C coarticulation in Catalan VCV sequences: an articulatory and acoustical study. *J. of Phonetics*, **12**, 61-73.
267. Recasens, D. (1991). An electropalatographic and acoustic study of consonant-to-vowel coarticulation. *J. of Phonetics*, **19**, 177-192.
268. Recasens, D. & Farnetani, E. (1990). Spatiotemporal properties of different allophones of /l/, phonological implications. *Quaterni del Centro di Studio per le Ricerche di Fonetica, U. of Padova.*, **XI**, 236-251.
269. Rietveld, A.C.M. (1980). Word boundaries in the French language. *Language and Speech*, **23**(3), 289-296.
270. Rigault, A. (1962). Rôle de la fréquence, de l'intensité et de la durée vocalique dans la perception de l'accent en Français. *Proceedings of the 4th ICPhS*, 735-748. Helsinki, Finland.
271. Rochette, C.L. (1973). Les groupes de consonnes en français - Etude de l'enchaînement articuloire à l'aide de la radiocinématographie et de l'oscillographie. Paris: Klincksieck.
272. Rossi, M. (1980). Le français, langue sans accent ? In I. Fonagy & P. Léon (eds.) L'accent en français contemporain. *Studia Phonetica*, **15**, 13-51.
273. Rossi, M. (1985). L'intonation et l'organisation de l'énoncé. *Phonetica*, **42**, 135-153.
274. Rossi, M., Di Cristo, A., Hirst, D., Martin, P.H. & Nishinuma, Y. (1981). L'intonation de l'acoustique à la sémantique. Paris: Klincksieck.
275. Rothenberg, M. (1977). Measurement of airflow in speech. *JSHR*, **20**, 155-176.
276. Roudet, L. (1910). Eléments de phonétique générale. Paris: Welter.
277. Rousselot, P.J. (1901). Principes de phonétique expérimentale. Paris: Welter.
278. Sabio, F. (1996). Description prosodique et syntaxique du discours en français. Données et hypothèses. Thèse de doctorat, U. de Provence.
279. Saussure F. (1915) Cours de linguistique générale. Paris: Payot.
280. Selkirk, E. (1972). The phrase phonology of English and French. PhD diss., MIT.
281. Selkirk, E. (1980). Prosodic domains in phonology: Sanskrit revisited. In M. Aronoff & M.-L. Keans (eds.) Juncture, 107-129. Saratoga: Anma Libri.
282. Selkirk, E. (1984). Phonology and syntax: the relation between sound and structure. Cambridge, Mass.: MIT Press.
283. Selkirk, E. (1986). On derived domains in sentence phonology. *Phonology Yearbook*, **3**, 371-405.

284. Shadle, C.H. & Scully, C. (1995). An articulatory-acoustic-aerodynamic analysis of [s] in VCV sequences. *J. of Phonetics*, **23**, 53-66.
285. Shattuck-Hufnagel, S. (1985). Context similarity constraints on segmental speech errors: an experimental investigation of the role of word position and lexical stress. *ASHA Repport*, **15**, 43-49.
286. Shattuck-Hufnagel, S. (1986). The representation of phonological information during speech production planning: evidence from vowel errors in spontaneous speech. *Phonology Yearbook*, **3**, 117-149.
287. Shattuck-Hufnagel, S. & Turk, A.E. (1996). A prosody tutorial for investigators of auditory sentence processing. *J. of Psycholinguistic Research*, **25** (2), 193-247.
288. Silverman, K., Beckman, M., Pitrelli, J., Ostendorf, M., Wightman, C., Price, P., Pierrehumbert, J., and Hirschberg, J. (1992). "TOBI: A Standard for Labeling English Prosody," *Proceedings of ICSLP*, **2**, 867-870. Banff, Canada.
289. Simon, P. (1967) Les consonnes françaises : mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie. Paris: Klincksieck. (et Thèse de doctorat, U. de Strasbourg)
290. Slis, I.H. (1971) Articulatory effort and its durational and electromyographic correlates. *Inst. for Perception Research U. of Eindhoven*, 71-02 & *Phonetica* **23**(3), 171-188.
291. Sluijter, M. C. (1995). Phonetics correlates of stress and accent. PhD diss., U. of Leyden.
292. Sluijter, M. C., van Heuven V.J., & Pacilly J.J.A. (1997). Spectral balance as a cue in the perception of linguistic stress. *JASA*, **101** (1), 503-513.
293. Sproat, R. & Fujimura, O. (1993). Allophonic variation in English /l/ and its implication for phonetic implementation. *J. of Phonetics*, **21**, 291-311.
294. Stetson, R.H.(1951) Motor Phonetics. A study of speech movements in action. Amsterdam: North-Holland Publishig Co.
295. Stevens, K.N. (1972) The quantal nature of speech: evidence from articulatory-acoustic data. In E.E. David & P.B. Denes (eds) Human communication: a unified view, 51-66. New York: McGraw-Hill.
296. Stevens, K.N. (1994). Prosodic influences on glottal waveform: preliminary data. *Proceedings of the Int. Symposium on Prosody, ICSLP satellite*, 53-64. Yokohama, Japan.
297. Stone, M. (1981). Evidence for a rhythm pattern in speech production: observations of jaw movement. *J. of Phonetics*, **9**, 109-120.
298. Stone, M., Faber, A., Raphael, L.J. & Shawker, T.H. (1992). Cross-sectional tongue shape and linguoplalatal contact patterns in [s], [j], and [l]. *J. of Phonetics*, **20**, 253-270.
299. Straka, G. (1963). La division des sons du langage en voyelles et consonnes peut-elle être justifiée? *Travaux de Ling. et de Littérature, U. de Strasbourg*, **1**, 17-99.
300. Straka, G. (1964). L'évolution phonétique du latin au français sous l'effet de l'énergie et de la faiblesse articulatoires. *Travaux de Ling. et de Littérature, U. de Strasbourg*, **2**, 17-98.
301. Streeter, L. A. (1978). Acoustic determinants of phrase boundary perception. *JASA*, **64** (6), 1582-1592.
302. 't Hart, J., Collier, R., and Cohen, A. (1990). A perceptual study of intonation: An experimental-phonetic approach to speech melody. Cambridge Studies in Speech Science and Communication, Chap.5, 121-150. Cambridge: C.U.P.
303. Thomas, K. (1997). EPG and aerodynamic evidence for the coproduction and coarticulation of clicks in isizulu. *Proceedings of Eurospeech97*, **1**, 379-382. Rhodes, Greece.
304. Thurneysen, R. (1946). A Grammar of Old Irish. Dublin: Inst. for Advance Studies.
305. Touati, P. (1987). Structures prosodiques du suédois et du français. *Lund W.P.*, **21**.
306. Trask, R.L. (1996). A dictionary of phonetics and phonology. New York: Routledge.
307. Troubetsky, N.S. (1949) Grundzüge der phonologie. Travaux du Cercle Linguistique de Prague VII.
308. UCLA Phonetics Laboratory (ouvrage collectif) (1990). Dissection of the speech production mechanism. *UCLA W.P.*, **77**.
309. Umeda, N. (1977) Consonant duration in American English. *JASA*, **61**, 846-858.
310. Umeda, N. (1978) Occurrence of glottal stops in fluent speech. *JASA*, **64** (1), 88-94.
311. Vaissière, J. (1974). On French prosody. *MIT QPR*, **114**, 212-223.
312. Vaissière, J. (1975). Further note on French prosody. *MIT QPR*, **115**, 251-261.
313. Vaissière, J. (1977). Premiers essais d'utilisation de la durée pour la segmentation en mots dans un système de reconnaissance. *Actes des VIIIe JEP*, 345-352. Aix en Provence, France.
314. Vaissière, J., (1983). Language-Independent Prosodic Features. In A. Cutler & D.R. Ladd (eds) Prosody: Models and Measurements. Berlin: Springer-Verlag, 53-66.
315. Vaissière, J. (1986a). Variance and Invariance at the Word Level. □ Invited Contribution, in J.S. Perkell & D.H. Klatt (eds.) Invariance and variability in speech processes, 534-53. Hillsdale: Erlbaum Ass.

316. Vaissière, J. (1986b). Invariance and Variability in Speech Production: A distinction between linguistic Intent and its neuromotor implementation, Comment on Abbs paper. In J.S. Perkell & D.H. Klatt (eds.) Invariance and variability in speech processes, 220-222. Hillsdale: Erlbaum Ass.
317. Vaissière, J. (1988). Prediction of velum movement from phonological specifications. *Phonetica*, **45**, 122-139.
318. Vaissière, J. (1989) Contribution à l'analyse des phénomènes de parole continue lue. Habilitation à diriger des recherches, U. de Strasbourg (unpublished).
319. Vaissière, J. (1992). Rhythm, accentuation and final lengthening in French. In J. Sundberg, L. Nord & R Carlson (eds.) Music, Language, Speech and Brain, 108-120. Stockholm: Wenner-Gren.
320. Vaissière, J. (1996) From Latin to modern French: on diachronic changes and synchronic variations. *Arbeitsberichte, U. Kiel*, **31**, 61-74.
321. Vaissière, J. (1997) Langues, prosodies et syntaxe. *Revue Traitement Automatique des Langues, ATALA*, **38 (1)**, 53-82
322. Vallée N. & Boë L.-J. (1992) Vers des prototypes acoustiques et articulatoires des 37 phonèmes vocaliques d'UPSID. *Actes des IX^e JEP*, 53-58. Bruxelles, Belgium.
323. van Lieshout, P., Starweaker C. W., Hulstijn W., & Peters H.F.M. (1995). Effects of linguistic correlates of stuttering on Emg activities in nonstuttering speakers. *J. of Speech and Hearing Research*, **38**, 360-372.
324. Vatikiotis-Bateson, E. (1988) Linguistic structure and articulatory dynamics. Bloomington: Indiana U. Linguistics Club.
325. Vatikiotis-Bateson, E. & Fowler, C. (1988). Kinematic analysis of articulatory declination. *JASA*, **84**(supp.1), S128.
326. Vatikiotis- Bateson, E. & Kelso, J. A. S. (1993). Rythm type and articulatory dynamics in English, French and Japanese. *J. of Phonetics*, **21**, 231-265.
327. Vayra, M. & Fowler, C. (1992). Declination of supralaryngeal gestures in spoken Italian. *Phonetica*, **49**, 48-60
328. Vennemann, T. (1993). Language change as language improvement. In Jones C. (ed.), Historical Linguistics: problems and perspectives. London-NewYork: Longman.
329. Verluyten, P. (1983). La structure de l'énoncé en groupes intonationnels. *ITL-Review of Applied Linguistics*, **60-61**, 77-104.
330. Vogel, I. (1992). Comments on chapters 3 and 4. In G. Docherty and D. R. Ladd (eds.) Papers in Lab. Phon. II: Gesture, Segment, Prosody, 125-129. Cambridge: C.U.P.
331. Wauquier, S. (1996). Organisation phonologique et traitement de la parole continue : contraintes prosodiques et phonologiques de l'accès lexical. Thèse de doctorat, U. Paris VII.
332. Wightman, C. W., Shattuck-Hufnagel, S., Ostendorf, M., Price, P.J. (1992). Segmental durations in the vicinity of prosodic phrase boundaries. *JASA*, **91 (3)**, 1707-1717.
333. Willbur & Zelaznik (1997). Kinematic correlates of stress and phrase position in ASL. Paper presented at the *71st Annual Meeting of the LSA*. Chicago, USA.
334. Wolf, M.B., Mc Cutcheon, M.J. & Hasegawa, A. (1976). Medial groove width during /s/ production. *Biocom. Lab. Res.Report, U. of Alabama in Birmingham*, **1**, 57-77.
335. Wright, R. (1994). Coda lenition in American English consonants: an EPG study. *JASA*, **95 (5 pt.2)**, 2819.
336. Zink, G. (1986). Phonétique historique du français. Paris: Presses Universitaires de France.

ANNEXE 1

CORPORA UTILISES DANS LES EXPERIENCES DE DEBIT NASAL ET D'EPG

I. Expérience de débit nasal :

Corpus n°1 : /n/ est à des positions sérielles différentes

	/a_a/	/i_i/
GLi	Pauvre Tata, Nadia et Paul n'arriveront que demain.	Pauvre Tatie, Nicole et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Nadia et Paul arriveront demain par le train.	Tonton, Tatie, Nicole et Paul arriveront demain par le train.
Mi	Tonton-Paul et Tata- Nadia arriveront demain par le train.	Tonton-Paul et Tatie- Nicole arriveront demain par le train.
Si	Tonton-Paul et Tatie- Anabelle arriveront demain par le train.	Tonton-Paul et Tatie- Inibelle arriveront demain par le train.

Corpus n°2 : /n/ est dans la 5ème syllabe de la phrase

	/a_a/	/i_i/
GLi	La pauvre Tata, Nadia et Paul n'arriveront que demain.	La pauvre Tatie, Nicole et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Nadia et Paul arriveront demain.	Tonton, Tatie, Nicole et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata- Nadia arriveront demain matin.	Paul et Tatie- Nicole arriveront demain matin.
Si	Tonton et Anabelle arriveront demain matin.	Tonton et Inibelle arriveront demain matin.

Corpus n°3 : voyelle nasale /A\$/

	/k_d/
GLi	Pauvre Jacques, André et Pierre n'arriveront que demain.
GAi	Olivier, Jacques, André et Pierre arriveront demain par le train.
Mi	Paul Dupond et Jacques André arriveront demain par le train.

II. Expérience d'électropalatographie :

Corpus n°1 : occlusive nasale antérieure /n/

	/a_a/
Pi	Paul aime Tata. Nadia les protège en secret.
Gli	La pauvre Tata, Nadia et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Nadia et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata- Nadia arriveront demain matin.
Si	Tonton et Anabelle arriveront demain matin.

Corpus n°2 : occlusive orale antérieure /t/

	/O\$_O\$/
Pi	J'ai vu Tonton. Thon lui parlait.
Gli	Le pauvre Tonton, Thon et Jacques sont déjà partis.
GAi	Tata, Tonton, Thon et Jacques sont là-bas.
Mi	C'est bien Tonton- Thon qui est là-bas.
Si	C'est bien ton tonton qui est là-bas.

Corpus n°3 : occlusive orale postérieure /k/

	/a_a/
Gli	La pauvre Tata, Caro et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Caro et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata- Caro arriveront demain matin.

Corpus n°4 : liquide antérieure /l/

	/a_a/
Gli	La pauvre Tata, Lara et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Lara et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata- Lara arriveront demain matin.
Si	Tonton et Aladin arriveront demain matin.

Corpus n°5 : fricative antérieure /s/

	/a_a/
Pi	Paul aime Tata. Sabine les protège en secret.
Gli	La pauvre Tata, Sabine et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Sabine et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata- Sabine arriveront demain matin.
Si	Tonton et Assaby arriveront demain matin.

Corpus n°6 : voyelle fermée antérieure /i/

	/p_p/
Gli	Le pauvre Philippe, Ippine et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Philippe, Ippine et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Philippe Ippine arriveront demain matin.

Corpus n°7 : groupe de consonnes /kl/

	/a_a/
Gli	La pauvre Tata, Clara et Paul n'arriveront que demain.
GAi	Tonton, Tata, Clara et Paul arriveront demain.
Mi	Paul et Tata- Clara arriveront demain matin.

ANNEXE 2

NOMBRE DE REPETITIONS ANALYSEES

I. Nombre de répétitions analysées par position et par locuteur dans les corpus n°1 et n°3 de l'expérience de débit d'air.

	/ana/				/ini/				/A\$/		
	GIi	GAi	Mi	Si	GIi	GAi	Mi	Si	GIi	GAi	Mi
1F	14	22	21	21	18	23	14	24	13	11	12
3F	21	18	17	17	19	18	17	18	9	9	10
4F	14	18	15	17	16	19	21	22	13	11	15
2M	13	17	19	17	20	15	19	21	10	9	7

II. Nombre de répétitions analysées par position et par locuteur dans le corpus n°2 de l'expérience de débit d'air.

	/ana/				/ini/			
	GIi	GAi	Mi	Si	GIi	GAi	Mi	Si
1F	10	11	13	-	12	12	10	10
2M	12	12	12	9	13	10	10	11

ANNEXE 3

DUREE ACOUSTIQUE DES SEGMENTS EN FONCTION DE LA POSITION PROSODIQUE (du chapitre V)

Tableau 1 a et b : Durée acoustique de /n/ en fonction de sa position prosodique. Durées moyennes sur 20 répétitions. Les écarts types sont indiqués entre parenthèses. Dans le tableau 1.a, durée de /n/ en contexte /a_a/ pour les données issues des expériences aérodynamiques (4 locuteurs) et EPG (2 locuteurs). Dans le tableau 1.b, durée de /n/ dans le contexte /i_i/ pour les données issues des expériences aérodynamiques (4 locuteurs).

1.a /a_a/	expé. aérodynamique				expé. EPG	
	1F	2M	3F	4F	1F	2M
Si	56 (5)	51 (5)	64 (6)	54 (6)	57 (11)	53 (9)
Mi	64 (8)	66 (6)	71 (8)	60 (7)	64 (5)	64 (9)
GAi	71 (10)	75 (12)	83 (11)	73 (9)	80 (8)	78 (8)
GLi	65 (16)	54 (19)	64 (15)	74 (25)	63 (20)	40 (16)
Pi					64 (22)	38 (26)

1.b /i_i/	1F	2M	3F	4F
Si	73 (7)	66 (8)	90 (21)	66 (9)
Mi	70 (8)	69 (6)	79 (10)	64 (7)
GAi	77 (7)	75 (14)	92 (9)	73 (11)
GLi	55 (13)	55 (16)	69 (23)	52 (15)

Tableau 2 : Durée acoustique des consonnes /l/ et /s/ en fonction de leur position prosodique. Durées moyennes sur 10 répétitions pour /l/ et 20 répétitions pour /s/. Les écarts types sont indiqués entre parenthèses.

	/l/		/s/	
	1F	2M	1F	2M
Si	46 (5)	40 (7)	115 (6)	107 (7)
Mi	50 (7)	46 (9)	99 (6)	104 (7)
GAi	68 (5)	75 (13)	109 (7)	121 (10)
GLi	49 (8)	34 (13)	114 (12)	99 (16)
Pi			119 (19)	101 (14)

Tableau 3 : Durée du VOT et de la tenue des consonnes /t/ et /k/ en fonction de leur position prosodique. Durées moyennes sur 20 répétitions pour /t/ et 15 répétitions pour /k/. Les écart types sont indiqués entre parenthèses.

	VOT				Tenue			
	/t/		/k/		/t/		/k/	
	1F	2M	1F	2M	1F	2M	1F	2M
Si	33 (5)	21 (6)			72 (10)	83 (11)		
Mi	38 (8)	19 (3)	27 (6)	31 (4)	87 (4)	93 (9)	69 (6)	72 (11)
GAi	35 (8)	26 (4)	29 (5)	31 (5)	98 (8)	114 (16)	77 (4)	86 (12)
GLi	39 (8)	24 (4)	31 (7)	39 (25)				
Pi	42 (6)	24 (3)						

Tableau 4 : Durée des voyelles /i/ et /A\$/ en fonction de leur position prosodique. Durées moyennes sur 15 répétitions pour /i/ et 10 répétitions pour /A\$/. Les écart types sont indiqués entre parenthèses.

	/i/		/A\$/			
	1F	2M	1F	2M	3F	4F
Mi	60 (8)	43 (8)	79 (9)	88 (5)	105 (24)	90 (7)
GAi	68 (16)	63 (22)	84 (14)	65 (14)	104 (18)	92 (13)
GLi	64 (10)	52 (7)	89 (9)	62 (13)	93 (16)	88 (16)