



**HAL**  
open science

# The interplay between prosody and linguopalatal (co)articulation in French

Yohann Meynadier

► **To cite this version:**

Yohann Meynadier. The interplay between prosody and linguopalatal (co)articulation in French . Linguistique. Université de Provence, Aix-en-Provence, 2003. Français. NNT : . tel-01609329

**HAL Id: tel-01609329**

**<https://hal.science/tel-01609329v1>**

Submitted on 3 Oct 2017

**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 Aix-Marseille I – Université de Provence  
UFR L.A.C.S.

Formation doctorale : Langage et Parole  
Discipline : Phonétique

Thèse de doctorat

**Interaction entre prosodie et (co)articulation  
linguopalatale en français**

*présentée et soutenue publiquement*

*le 6 janvier 2003*

*par*

**Yohann Meynadier**

*sous la direction de*

**Alain Marchal**

*devant le jury présidé par*

Albert Di Cristo, professeur, Université de Provence

*composé de*

Jonathan Harrington, professeur, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (rapporteur)

Rudolph Sock, professeur, Université Marc Bloch de Strasbourg (rapporteur)

Didier Demolin, professeur, Université Libre de Bruxelles

Noël Nguyen, professeur, Université de Provence

Alain Marchal, directeur de recherche CNRS, Université de Provence



*à Braca d'Abra,*

*« Il vaut mieux avoir des regrets que des remords ! »*

*Ma maman*



## **Re-Merciements,**

**Je plus que tiens à plus que remercier avant plus que tout les trois moteurs sans qui toute cette mécanique ne tournerait pas rond sans quoi cette thèse n'en serait jamais arrivée là :**

*tout d'abord, mon Bernard Teston, pour ses coups de gueule et son coup de semonce, sans qui j'aurai(s) survécu d'amour et d'eau fraîche, ou d'augures et d'offres rêches, pendant quelques années et sans qui je n'aurais pas pratiqué le « voutoïement » et le « tuvoïement » avec autant d'acharnement ;*

*tout d'abord, mon Michel Pitermann, pour ses coups de pouce et ses coups de coude, sans qui ça serait jamais si clair et si rassurant, et sans qui la Belgique serait si plate ;*

*tout d'abord, ma Cécile Fougeron, pour son coup d'œil et son coup de tête, sans qui je me serais perdu sur les sentiers de la thèse et manqué de désertter ;*

### **Mais par dessus tout :**

*à ma Mimi, pour « son coup d'soleil, son coup d'amour, son coup d'je-t'aime », sans qui sans quoi ces « si » seraient si seuls et ces « sous-si » si so(m)bres... et mon bébé si beau.*

### **Merci surtout aussi,**

*à mamie-Mayotte et à papi-couches sans qui « patience », « confiance », « persistance » et « soutenance » ne rimeraient pas, et à qui je dois tout*

*à Pouné, Jojo, papi-Jean et Marlène sans qui ça aurait été encore plus dur et même impossible*

*à Malou, Juju, Gilou et Jef sans qui c'aurait été grave, j'aurais pas pensé à aut'chose et j'y s'rais pas arrivé*

*à Stef, Steph et Nath, Luc, Gilles et Carole, Alice, Jules et Maxou, Théo et Eudes pour ces fabuleux derniers moments de détente avant l'orage*

*à Olivier pour ses encouragements toujours si tendres*

*à Alexis, Antoine, Camilla, Eléni, Juliette, Louis, Noé et Samuel pour avoir prouvé que la vie peut naître de la phonétique, c'est rassurant*

*et plus que tout à Pol qui se fout de tout ça et avec qui rien ne sera plus comme avant.*

### **Merci encore,**

*à Kiki pour son amitié si douce et pour avoir manqué plus d'une fois le film à la télé*

*à Marianne et Ludo pour laisser les pauvres squatter Aix dans leur jardin avec mon poirier*

*à Alain et Nassima pour qu'on arrive un jour enfin à se voir*

*à Laurent et Séverine pour nos trop rares moments joviaux*

*à Corine et aux Scottish Telecom de fonctionner si bien quand on en a tant besoin*

*à Didier, et sa famille, de m'avoir laissé squatter chez lui et à son labo, et massacrer leur pelouse*

*à Robert sans qui la complexité serait trop simple et la simplicité trop complexe, « mais que faire sans Robert » (Kiki 1994)*

*à Isabelle M., pour sa dispo et ses mots doux*

*à Sandrine, pour m'avoir enregistré, enregistré, réenregistré et réenregistré, et pour son billet doux*

*et à Annelise pour son billet tout aussi doux*

à Muriel pour son télé-soutien assidu et ses télé-encouragements phoniques  
à Nadine pour tout vous saurez tout sur les qualifs  
à Benoît Lagrue pour la longue route taillée ensemble et pour avoir fait comme t'as dit, et pas  
comme t'as fais  
à Maria-Paola, Roxane, Pascal et Mylène pour leurs encouragements  
à Louis et à Jacqueline pour leur soutien logistique sympathique

**Merci bien sûr à tous les amis et la clique phonétique sympathique,**  
à Alain G., Benoît G., Catherine, Chantal, Cristel et Cyril D.

**Je veux également remercier ceux sans qui ma soutenance aurait un goût d'absence**  
tout d'abord, un grand merci à Jonathan Harrington et à Rudolph Sock pour avoir  
patiemment attendu pour rapporter sur ce travail en un temps record et d'avoir accepté de le  
juger  
à Albert Di Cristo pour avoir accepté de présider ma soutenance et de m'avoir attiré en  
phonétique  
à Didier Demolin pour avoir si chaleureusement accepté de juger ce travail  
à Noël Nguyen pour avoir bien voulu juger ce travail et parfois m'écouter  
et enfin Alain Marchal pour avoir encadré ce travail, et pour sa patience rassurante

**Enfin, je remercie**  
tous ceux qui m'excuseront d'avoir oublié de les remercier.

## Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
Les positions prosodiques étudiées	1
Les niveaux prosodiques étudiés	2
Les deux questions centrales de cette étude	2
La méthode d'analyse	3
La structure de la thèse	3
<b>I</b>	
<b>Prosodie et co-variations articulatoires</b>	<b>5</b>
<b>Chapitre 1</b>	
<b><i>La structure prosodique en français</i></b>	<b>6</b>
1. Deux niveaux prosodiques d'organisation : accentuation et intonation	7
2. Accentuation finale et initiale	9
2.1. La conception traditionnelle	9
2.2. Une structure accentuelle plus complexe	10
2.3. Les processus accentuels lexicaux	10
2.4. Accent primaire et accent secondaire	11
2.4.1. L'accent primaire	12
2.4.2. L'accent secondaire	12
3. Accentuation post-lexicale et intonation	13
3.1. L'intonation	13
3.1.1. L'intonation et la structure syntaxique	13
3.1.2. L'intonation et l'organisation énonciative	15
3.2. La régulation rythmique de l'énoncé	16
4. Des types d'accent	18
4.1. L'accent lexical	19
4.2. L'accent rythmique	20
4.3. Les accents sémantico-pragmatiques	20
4.3.1. L'accent primaire	20
4.3.2. Les accents focaux	20
4.3.2.a. Les accents emphatiques	20
4.3.2.b. L'accent focal contrastif et l'accent nucléaire	20
5. La hiérarchie prosodique	21
5.1. Une hiérarchie des proéminences	22
5.2. Une hiérarchie des frontières	23
5.3. La hiérarchie des constituants prosodiques en français	23



**Chapitre 2**

<b><i>Co-variations articulatoires de la structure prosodique</i></b>	<b>25</b>
1. Les processus articulatoires de marquage supraglottique de l'accent	25
1.1. Un renforcement par augmentation de la force articulatoire	26
1.1.1. La notion de force articulatoire	26
1.1.2. Les travaux de Straka	27
1.2. Un contraste de sonorité maximalisé	29
1.2.1. Une ouverture mandibulaire plus importante sous l'accent	29
1.2.2. Une expansion de la sonorité sous l'accent	31
1.2.3. Effet de frontière et effet de proéminence	32
1.2.3.a. L'allongement final	32
1.2.3.b. L'accent nucléaire et l'accent lexical	33
1.2.4. Les limites de l'hypothèse d'expansion de la sonorité	34
1.3. Une hyperarticulation locale	35
1.3.1. Le modèle H&H de Lindblom	35
1.3.2. La proposition de de Jong	36
1.3.3. Une articulation plus distinctive sous l'accent	36
1.3.4. Les limites de l'hypothèse d'hyperarticulation	37
1.4. L'importance de la dynamique intra-gestuelle et du timing inter-gestuel	40
1.4.1. Un timing articulatoire modifié sous l'accent	41
1.4.2. Les études relatives au français	42
1.5. Conclusions sur l'articulation supraglottique sous l'accent	43
2. Un marquage graduel selon la hiérarchie prosodique	44
2.1. Deux positions prosodiques fortes	45
2.2. La position initiale de constituant	46
2.2.1. L'articulation glottique	46
2.2.2. L'articulation nasale	47
2.2.3. L'articulation linguale	47
2.2.4. Une coarticulation réduite	48
2.3. La position finale de constituant et la coarticulation trans-frontalière	49
2.3.1. La position finale	49
2.3.2. Une réduction de la coarticulation et de la coproduction trans-frontalière	50
2.3.3. Les travaux de Byrd et de ses collègues	52
2.3.3.a. Byrd et Saltzman (1998)	52
2.3.3.b. Byrd (2000)	52
2.3.3.c. Byrd et al. (2000)	53
2.4. Conclusions sur l'articulation en frontière	54

## II

**La méthode****56****Chapitre 1****Le corpus****57**

1. Composition segmentale du corpus	57
1.1. La neutralisation du contexte phonotactique	57
1.2. Un débit de parole contrôlé	58
1.3. La déclinaison articulatoire	59
2. Composition prosodique du corpus	59
2.1. Manipulation de la structure sémantico-syntaxique	60
2.2. Des contraintes spécifiques	60
2.3. Présentation des différentes catégories prosodiques observées	61
2.3.1. Typologie fonctionnelle des catégories prosodiques larges et étroites	61
2.3.1.a. Les deux catégories non prosodiques	61
2.3.1.b. Les deux catégories prosodiques accentuelles	62
2.3.1.c. Les quatre catégories prosodiques intonatives	64
2.3.2. Les énoncés du corpus	66
2.3.3. Typologie formelle des catégories prosodiques larges et étroites	66
3. L'acquisition des données	69
3.1. Les sujets	69
3.2. L'enregistrement	70
3.3. Le corpus en quelques chiffres	70

**Chapitre 2****Distinctions phonétiques des catégories prosodiques****71**

1. La méthode d'analyse prosodique	71
1.1. La segmentation acoustique des items	71
1.2. Le traitement tonal	72
1.2.1. La détection de la fréquence fondamentale	72
1.2.2. La normalisation tonale	72
1.2.2.a. Le filtrage perceptif	72
1.2.2.b. La normalisation par la transformée z	72
1.2.3. La récupération des valeurs tonales	74
1.2.4. Les mesures tonales : hauteur et glissando vocaliques	75
1.2.5. Traitement particulier du groupe /lk/	75
1.3. Le traitement temporel : l'allongement vocalique	76
2. Caractéristiques suprasegmentales des catégories prosodiques observées	76
2.1. Les items écartés de l'analyse	76
2.2. Les quatre catégories prosodiques larges	78
2.3. Les huit catégories prosodiques étroites	80
2.4. Une hiérarchisation phonético-fonctionnelle des catégories prosodiques	83

**Chapitre 3*****L'analyse articulatoire*****86**

1. L'électropalatographie	86
1.1. Les informations spatiales	87
1.2. Informations temporelles	89
1.3. Les limites de l'EPG	90
1.3.1. Interférences provoquées par le palais artificiel	90
1.3.2. Une fenêtre d'observation articulatoire réduite	91
2. La méthode d'analyse électropalatographique	92
2.1. La segmentation EPG de la séquence VC#CV	92
2.1.1. La segmentation des voyelles	92
2.1.2. La segmentation des consonnes	93
2.1.2.a. Les zones EPG	93
2.1.2.b. L'étiquetage des phases articulatoires	94
2.2. Les items écartés de l'analyse articulatoire	97
2.3. Les mesures et les indices EPG	97
2.3.1. Mesures intra-segmentales	97
2.3.1.a. Les mesures vocaliques	97
2.3.1.b. Les mesures consonantiques	98
2.3.2. Mesures inter-segmentales	98
2.3.2.a. Les mesures relatives à la coarticulation VC et CV	98
2.3.2.b. Les mesures relatives à la coarticulation CC	99
2.3.3. Les indices EPG	100
2.3.3.a. Les indices d'antériorité et de postériorité du lieu d'articulation	100
2.3.3.b. L'indice de centralité du lieu d'articulation	101

**Chapitre 4*****La méthode statistique d'analyse des variations articulatoires en fonction des deux catégorisations prosodiques*****103**

1. La procédure générale de l'analyse	104
2. L'Indice de Correspondance Hiérarchique	106

## III

---

**Résultats expérimentaux** **110**
**Chapitre 1**
**Comparaison des catégorisations prosodiques en fonction  
des co-variations articulatoires** **111**

1. Comparaison quantitative des deux types de hiérarchies : étapes 1 et 2 de la procédure 111
  - 1.1. Des taux similaires de rejet des mesures 112
  - 1.2. La question de l'indépendance des deux hiérarchies prosodiques 112
2. Confrontation des locuteurs : étapes 3, 4 et 5 de la procédure 114
3. Comparaison qualitative des deux types de hiérarchies prosodiques 116
  - 3.1. Nécessité d'une comparaison qualitative 116
  - 3.2. La comparaison qualitative 117
    - 3.2.1. Détermination de la position hiérarchique des catégories étroites  
selon celle des catégories larges 118
    - 3.2.2. Distinction statistique des catégories prosodiques étroites sous-composant  
une même catégorie large 119
  - 3.3. La hiérarchie des catégories prosodiques étroites ne sous-spécifie pas  
strictement celle en catégories larges 121
4. Conclusions sur la comparaison des deux hiérarchies prosodiques envisagées 121

**Chapitre 2**
**Localisation et nature des corrélats articulatoires de la hiérarchie prosodique** **123**

1. Corrélats articulatoires segmentaux 123
  - 1.1. Articulation vocalique 124
    - 1.1.1. La voyelle finale V1 124
      - 1.1.1.a. L'allongement vocalique 124
      - 1.1.1.b. L'ouverture vocalique 125
    - 1.1.2. La voyelle post-tonique V2 127
  - 1.2. Articulation consonantique 129
    - 1.2.1. La consonne finale C1 130
      - 1.2.1.a. Un allongement consonantique 130
      - 1.2.1.b. Une asymétrie temporelle 131
    - 1.2.2. La consonne initiale C2 132
      - 1.2.2.a. Une asymétrie temporelle inverse à C1 133
      - 1.2.2.b. Durée et amplitude 134
2. Corrélats coarticulatoires entre segments contigus 136
  - 2.1. La coarticulation dans la rime V1C1# 136
    - 2.1.1. L'allongement de la rime 136
    - 2.1.2. L'intervalle inter-gestuel 138
    - 2.1.3. Le contraste VC 141
  - 2.2. La coarticulation en attaque #C2V2 142
  - 2.3. La coarticulation inter-consonantique C1#C2 143
    - 2.3.1. L'allongement du groupe 144
    - 2.3.2. La réduction de la coproduction 145
    - 2.3.3. La sensibilité différente des groupes au contexte prosodique 147

3. Corrélats coarticulaires entre segments non contigus	150
3.1. La coproduction C1#V2	150
3.1.1. L'allongement de la séquence	151
3.1.2. L'intervalle inter-gestuel	152
3.2. La coproduction V1#C2	154
3.2.1. L'allongement de la séquence	154
3.2.2. L'intervalle inter-gestuel	154
3.2.3. Une ré-interprétation des résultats	156
4. Conclusions sur les résultats articulatoires	159

## IV

<b>Interprétation générale et discussion</b>	<b>161</b>
<b>Chapitre 1</b>	
<b><i>La granularité prosodique des co-variations articulatoires</i></b>	<b>162</b>
1. Distinctions prosodiques majeures et mineures	162
1.1. Les distinctions prosodiques les plus nettes	162
1.2. Le nombre de niveaux hiérarchiques	164
1.3. Trois distinctions de poids différent	165
2. Des distinctions identiques à celles observées dans les autres études	166
2.1. Une comparaison avec l'étude de Fougeron (1998)	166
2.2. Les distinctions prosodiques inter-catégorielles	168
2.3. Le nombre de niveaux hiérarchiques	169
2.4. Des niveaux identiques de contraste prosodique hiérarchique	169
3. Qu'est-ce-que nous apprennent les co-variations articulatoires sur les unités prosodiques d'organisation structurelle et hiérarchique de la parole ?	170
3.1. Les relations hiérarchiques entre intonation conclusive et continuative	170
3.2. Les traits suprasegmentaux et les distinctions prosodiques supraglottiques	171
<b>Chapitre 2</b>	
<b><i>Le noyau inter-individuel des co-variations articulatoires de la structure prosodique</i></b>	<b>173</b>
1. Domaines privilégiés et nature des co-variations articulatoires	173
1.1. Une démarcation frontalière croissante marquée par une cohésion rimique et une rupture trans-frontalière renforcées	175
1.1.1. Une cohésion articulatoire plus grande dans la rime	175
1.1.2. Une coproduction trans-frontalière réduite	176
1.1.3. L'influence potentielle de l'absence de pause	178
1.2. Des variations articulatoires principalement temporelles	179
2. L'absence de marquage supraglottique en attaque de constituant ?	181
2.1. Une durée plus longue des consonnes linguopalatales initiales	181
2.2. Une constriction linguopalatale plus ample des consonnes initiales	182
2.2.1. Une différence de contexte segmental	182
2.2.2. La variabilité intra-individuelle	182
2.2.3. Deux systèmes EPG différents	183
2.2.4. Des fenêtres d'observation réduites	184
<b>Conclusion</b>	<b>187</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>192</b>
<b>Annexes</b>	



---

## **Introduction**

### Prologue

« *En parlant, on ouvre la bouche quand elle est fermée,  
puis on la ferme quand elle est ouverte,  
et ainsi de suite.* »

*P. Delattre, 1944*

Les relations entre suprasegmental et segmental, à savoir entre prosodie et articulation, soulignent que la parole est un acte à la fois éminemment cognitif et collectif, et, éminemment physique et individuel. En reliant les représentations abstraites organisationnelles à l'activité motrice des organes articulatoires de production de la parole, l'étude de l'interaction entre prosodie et articulation occupe une position importante dans l'interface entre phonologie et phonétique.

Les travaux relatifs à l'articulation selon la structure prosodique montrent une différenciation selon deux types de catégories prosodiques en termes de co-variations articulatoires : les proéminences (ou accents) et les frontières (unités démarcatives). Dans les deux cas, une réduction de la coarticulation/coproduction, un renforcement des traits distinctifs, de l'amplitude, de la durée des gestes et/ou des modifications de timing accompagnent régulièrement l'importance de la proéminence ou de la frontière dans l'énoncé.

Ces variations articulatoires des segments et dans les enchaînements inter-segmentaux montrent bien souvent un caractère graduel selon le niveau de la proéminence ou de la démarcation dans la hiérarchie prosodique. Il semble cependant que le nombre de niveaux hiérarchiques distingués par des variations articulatoires concomitantes, très variables inter-individuellement et hautement facultatives, soit relativement limité. Généralement, le niveau intonatif se distingue du niveau accentuel qui lui-même se différencie du niveau inaccentué selon des marques articulatoires décroissantes.

Concernant ces aspects, peu d'études portent sur le français. L'étude de Fougeron (1998) constitue un point de départ intéressant. Elle montre que les segments initiaux de constituants voient leur articulation graduellement renforcée selon 2 à 4 niveaux hiérarchiques en fonction de l'importance croissante de la frontière prosodique précédente.

### **Les positions prosodiques étudiées**

Pour notre part, nous avons choisi de compléter cette information en nous intéressant aux phénomènes articulatoires liés aux deux positions importantes face à la frontière prosodique : la position finale, pré-frontalière, et la position initiale, post-frontalière. De plus, nous analysons également les phénomènes articulatoires, et plus particulièrement de timing, relatifs aux enchaînements trans-frontaliers.

Nous étudions ainsi les modifications articulatoires dans une séquence VC#CV, où V correspond à la voyelle /a/ et C#C aux groupes /kl/, /kt/, /lk/ ou /tk/, répondant à une frontière prosodique graduellement plus importante. L'analyse articulatoire linguopalatale repose sur une investigation électropalatographique (EPG).



### **Les niveaux prosodiques étudiés**

Dans cette étude, nous tentons de dégager des phénomènes articulatoires récurrents pouvant montrer une variation graduelle/catégorielle selon le niveau de démarcation prosodique. Cette approche repose sur deux démarches de validation : l'une prosodique et l'autre articulatoire.

D'une part, les niveaux prosodiques étudiés, et donc de leur organisation hiérarchique, sont fondés sur une validation empirique statistique à partir de l'analyse prosodique des différents paramètres suprasegmentaux : allongement, hauteur tonale et glissando mélodique. D'autre part, nous essayons d'isoler les phénomènes articulatoires et coarticulatoires les plus systématiques et les plus robustes aux variations individuelles, c'est-à-dire les moins variables et qui accompagnent le plus étroitement la hiérarchie des frontières prosodiques. Nous cherchons ainsi à identifier le « noyau dur » des interactions entre (co)-articulation linguopalatale et structure prosodique.

L'objectif de cette étude n'est pas d'évaluer la pertinence ou la validité des différentes unités prosodiques ou des diverses architectures prosodiques qui ont pu être proposées pour le français, mais d'éclaircir la nature des liens et le degré de correspondance entre la structuration prosodique et l'articulation segmentale dans la parole.

En outre, concernant la représentation prosodique, en l'absence de consensus théorique sur le type et le nombre de niveaux hiérarchiques ou sur la nature des unités structurales (Shattuck-Hufnagel & Turk 1996, Lacheret-Dujour & Beaugendre 1999), nous proposons de rendre compte de l'interaction entre articulation linguopalatale et structure prosodique selon une hiérarchie empirique des frontières prosodiques. Celle-ci ne constitue cependant en aucun cas une proposition théorique.

Les catégories prosodiques présentées ici ne sont pas nécessairement définies de la même manière dans la littérature relative au français. Elles sont déterminées au regard des unités proposées par les différentes approches de la structure prosodique du français (principalement, Di Cristo 1998, 1999, 2000, et Rossi 1999).

Ce n'est qu'après une validation empirique (statistique), reposant sur l'analyse prosodique des paramètres d'allongement, de hauteur tonale et de glissando vocalique, que les marqueurs suprasegmentaux sont considérés comme des catégories ou des niveaux prosodiques hiérarchiques, sans d'autre visée que de constituer un cadre cohérent pour l'analyse des co-variations articulatoires supraglottiques selon la structure prosodique de l'énoncé.

### **Les deux questions centrales de cette étude**

Nous voulons rendre compte de l'interaction entre articulation linguopalatale et structure prosodique en répondant à deux questions essentielles :

- (1) Avec quel degré d'adéquation les co-variations articulatoires et coarticulatoires supraglottiques accompagnent-elles la hiérarchie des frontières prosodiques ?
- (2) Est-il possible de dégager un « noyau dur » dans les variations et les processus articulatoires impliqués dans le marquage graduel supraglottique des niveaux de frontière prosodique ?

La première question est relative à la granularité des phénomènes articulatoires en fonction des niveaux ou unités prosodiques distinguées et permettant de rendre compte de l'organisation de l'énoncé. Elle concerne le degré de corrélation maximal des variations catégorielles articulatoires avec la hiérarchie prosodique. La correspondance entre phénomènes articulatoires et structure prosodique est donc évaluée en fonction du nombre et du type de niveaux prosodiques hiérarchiques distingués par des marques supraglottiques graduelles.

En d'autres termes, nous cherchons à savoir dans quelle mesure les caractéristiques articulatoires des segments et la coordination inter-segmentale reflètent régulièrement l'organisation de l'énoncé en constituants prosodiques de différents niveaux, cette comparaison permettant de préciser la nature des liens entre articulation segmentale et structure suprasegmentale dans la parole.

La seconde question concerne le type de phénomènes ou de mécanismes articulatoires qui sont impliqués dans le marquage supraglottique parallèle à la hiérarchie prosodique.

D'une part, nous tentons de déterminer quels sont les domaines syntagmatiques dans la séquence

VC#CV qui sont les lieux d'expression privilégiés des marques articulatoires : voyelle finale, consonne codaique, rime de la syllabe finale, syllabe initiale, ou enchaînements CC...

D'autre part, nous essayons de préciser quels types de manœuvres ou de processus concourent à un renforcement articulatoire selon le niveau hiérarchique croissant de la frontière prosodique. Ainsi, nous cherchons à déterminer si le marquage articulatoire de la structure prosodique repose sur des modifications spatiales, d'amplitude et/ou de déplacement de lieu, et/ou sur des changements temporels relatifs à l'allongement ou au timing intra- et inter-gestuel des articulations.

La confrontation de ces informations permettra peut-être de dessiner une stratégie de renforcement homogène s'établissant en plusieurs positions syntagmatiques dans la séquence et selon les deux dimensions articulatoires.

Ces questions sont abordées sous l'angle des variations inter-individuelles. En effet, les phénomènes ne sont ici pris en compte que dans le cas où ils répondent à un comportement homogène entre les locuteurs. Ainsi, nous nous intéressons principalement aux co-variations articulatoires concomitantes à la hiérarchie prosodique qui sont le fait d'une production non idiolectale. Nous cherchons à déterminer quelles sont les variations articulatoires répondant de manière minimale à la hiérarchie prosodique et les moins soumises à la variabilité individuelle. Cette approche pourra peut-être participer à identifier un îlot relationnel minimal et stable entre prosodie et articulation

### **La méthode d'analyse**

La méthode de l'analyse articulatoire que nous avons conduite emprunte une approche empirique. Nous avons effectué un grand nombre de mesures différentes sur les différents segments et les différents enchaînements inter-segmentaux composant la séquence VC#CV : V1, C1, C2, V2, V1C1#, #C2V2, C1#C2, V1#C2 et C1#V2. Ainsi, 178 mesures différentes ont été réalisées dans quatre contextes consonantiques différents (/kl, kt, lk, tk/) pour trois locuteurs.

Une procédure de filtrage des mesures articulatoires, reposant sur cinq critères statistiques, permet de ne retenir que celles répondant à deux conditions nécessaires et suffisantes :

- (1) une corrélation minimale avec la hiérarchie prosodique considérée, c'est-à-dire reflétant une correspondance assez étroite entre la hiérarchie prosodique et un phénomène articulatoire présentant une variation graduelle relativement parallèle à la hiérarchie ;
- (2) une homogénéité minimale entre les réalisations articulatoires des locuteurs, c'est-à-dire un sens de variation identique pour un même phénomène articulatoire remplissant la première condition pour au moins deux des trois locuteurs de l'étude.

Par cette méthode, nous entendons restreindre notre analyse aux faits les plus marqués et augmenter la confiance dans les résultats étudiés, en prenant le risque de limiter drastiquement les observations potentielles et d'adopter un regard peut-être réducteur sur les phénomènes examinés.

Ainsi, à l'issue de cette procédure, 102 mesures articulatoires (soit 14 %) montrent un degré de corrélation étroit et homogène inter-individuellement avec la hiérarchie prosodique. Elles constituent le cœur de notre analyse articulatoire.

### **La structure de la thèse**

Cette thèse est organisée en quatre parties principales.

La première Partie présente les deux domaines sur lesquels ce travail est à cheval : la prosodie et l'articulation de la parole.

Dans le Chapitre I, nous proposons une description générale de la prosodie du français, nous y dressons une typologie des catégories accentuelles et nous y introduisons le concept de hiérarchie prosodique.

Dans le Chapitre II, nous présentons les travaux qui traitent de l'interaction entre articulation et prosodie. Nous résumons et comparons les principales études ayant mis en évidence un processus de marquage supraglottique de l'accent et de la frontière prosodique.

La seconde Partie est consacrée à exposer la méthode élaborée pour étudier les co-variations

articulatoires en fonction de la hiérarchie prosodique.

Dans le Chapitre I, nous présentons le corpus analysé.

Le Chapitre II est consacré à la détermination et la validation de la hiérarchie prosodique retenue pour aborder l'interaction entre articulation et structure prosodique.

Dans le Chapitre III, nous exposons la méthode d'analyse articulatoire relative à l'observation EPG de l'articulation linguopalatale.

Enfin, le Chapitre IV concerne la description de la procédure générale de filtrage des phénomènes articulatoires selon leur corrélation avec la hiérarchie prosodique et leur homogénéité inter-individuelles.

La troisième Partie se consacre à la présentation des résultats expérimentaux.

Dans le Chapitre I, est abordé le point concernant les résultats du filtrage des mesures articulatoires.

Dans le chapitre II, nous analysons les résultats articulatoires relatifs à l'influence du niveau hiérarchique croissant de la frontière prosodique sur l'articulation des différents segments et la coarticulation dans les différentes positions dans la séquence VC#CV.

Enfin, la quatrième Partie propose une interprétation générale et une discussion des résultats obtenus.

Dans le Chapitre I, la question de la granularité des co-variations articulatoires selon le hiérarchie prosodique est abordée.

Dans le Chapitre II, nous rendons compte des lieux et processus articulatoires impliqués dans le marquage supraglottique graduel des frontières prosodiques de niveau hiérarchique croissant.

# I

---

## ***Prosodie et co-variations articulatoires***

Cette première Partie présente les deux domaines concernés par ce travail de thèse.

Dans le Chapitre 1, nous présentons le domaine de la parole concerné par la prosodie à partir de l'exemple du français.

Dans cette partie très générale, nous essayons brièvement de rendre compte des connaissances actuelles relatives à la structure prosodique du français. Nous présentons ainsi les faits relatifs à l'accentuation et l'intonation participant à la structuration de l'énoncé.

Nous proposons également une typologie accentuelle et nous introduisons la notion de hiérarchie prosodique nécessaire pour rendre compte de l'interaction entre prosodie et articulation.

Dans le Chapitre 2, nous proposons une synthèse des principaux travaux en production articulatoire de la parole qui mettent en évidence un processus de marquage articulatoire sous l'accent ou en frontière finale ou initiale de constituants prosodiques.

Dans un premier temps, nous rappelons trois propositions générales qui ont été faites afin de rendre compte des processus de renforcement articulatoire supraglottique sous l'accent. La première est relative à un renforcement par une augmentation de la force articulatoire (Straka 1963). La seconde postule un accroissement de l'énergie acoustique par une ouverture plus ample du conduit vocal sous l'accent (Beckman et al. 1992). La troisième fait l'hypothèse d'une hyperarticulation localisée sous l'accent ayant pour conséquence de maximaliser les caractéristiques phonétiques distinctives des segments (de Jong 1995). Ces propositions ne sont cependant pas totalement antagonistes, notamment au regard de l'importance des modifications de timing des mouvements articulatoires qui opèrent en position accentuée.

Dans un second temps, nous rendons compte des travaux plus particulièrement concernés par un renforcement articulatoire graduel des segments selon le niveau hiérarchique de la frontière prosodique. Ces travaux montrent que des modifications de l'amplitude, de la durée ou du timing inter-gestuel varient progressivement selon plusieurs niveaux hiérarchiques. Ces variations concomitantes à la structure prosodique concernent tant la position initiale que finale de constituant. Dans ces processus de marquage supraglottique catégoriel des niveaux de frontière prosodique, la coordination intra- et inter-gestuelle joue un rôle important. La coproduction articulatoire trans-frontalière est réduite plus la frontière médiane effectue une démarcation prosodique prédominante dans l'énoncé.

## Chapitre 1

### ***La structure prosodique en français***

Ce chapitre concerne la dimension prosodique de la parole, c'est-à-dire les phénomènes phonétiques et phonologiques qui participent à l'accentuation, au rythme et à l'intonation. Au niveau phonétique la prosodie se réfère aux paramètres physiques suprasegmentaux relatifs à la fréquence fondamentale, la durée et l'intensité, au niveau phonologique aux éléments formels déterminés par ces paramètres comme l'accent, les intonèmes, les différents constituants prosodiques.

Outre que la prosodie est intrinsèquement « polysémique » (Di Cristo 2000bc), véhiculant des informations para- ou extra-linguistiques relatives entre autres à l'expressivité, l'implication énonciative, l'interaction discursive, l'identification du locuteur (sexe, âge, carrure, santé, origine géographique...) ou au style de parole<sup>1</sup>, sa fonction essentielle est d'opérer une « organisation de la forme sonore du langage » (Di Cristo & Hirst 1996) en unités structurales cognitivement et perceptivement identifiables permettant l'encodage et le décodage de la parole. Elle établit une structuration phonique de l'énoncé relativement indépendante, mais cependant en communication étroite avec l'organisation syntaxique et sémantico-pragmatique : « *La fonction structurale de la prosodie occupe une place centrale dans le langage, dans la mesure où elle agit comme un principe organisateur qui façonne le matériau verbal et met en perspective l'information.* » (Di Cristo 2000b : 20).

C'est fondamentalement au regard de ce rôle organisationnel que la prosodie occupe une place centrale accrue en phonologie depuis le développement des théories multilinéaires, métrique et autosegmentale (pour une synthèse, Goldsmith 1990). Les propositions théoriques concernant les représentations de la structure prosodique se sont multipliées, et le français n'y a pas échappé. Concernant la représentation de la structure prosodique de la parole, bien qu'aucun consensus scientifique n'émerge actuellement sur le type d'architecture hiérarchique, le nombre et la nature des niveaux de représentation, deux distinctions fondamentales sont quasi unanimement partagées.

La première distinction découle logiquement de la séparation linguistique classique entre phonétique et phonologie, et n'est pas propre à la description prosodique. La séparation entre un niveau de représentation abstrait (dénommé communément par les termes *phonologique, cognitif, linguistique...*) et un niveau de représentation concret (ou *physique, phonétique, analytique...*) fonde la base structurelle de toute représentation prosodique. Le premier se réfère à la projection mentale et la façon dont un locuteur/auditeur pourrait représenter et conceptualiser les informations prosodiques en termes de catégories et de processus cognitifs. Le second renvoie aux propriétés physiques suprasegmentales (acoustiques, perceptives ou articulatoires) de la parole et à la façon dont elles sont synchroniquement réalisées. Entre et à l'intérieur même de ces deux niveaux liminaires de représentation, les propositions divergent au regard du nombre, de la nature et des relations entre niveaux intermédiaires pouvant composer ou relier ces deux niveaux fondamentaux.

Hirst et al. (1999) résument la situation théorique générale en ces termes : « *Although the distinction between abstract linguistic representations and concrete physical representations is fairly uncontroversial, different approaches tend to differ in the relative importance which they attach to each of these two levels [...]. In order to distinguish these two types of representation we can use specific terms cognitive representation and analytical representation. In many cases of representations which are intermediate between the purely physical and the purely cognitive extremes, it is an empirical question whether they should be considered cognitive or analytical. [...] While the existence of an abstract cognitive representation is fairly widely accepted, there is little or no consensus as to its nature.* » (p. 52).

La seconde distinction est propre à la description prosodique et concerne la séparation entre accentuation et intonation. Ce point sera développé spécifiquement dans le premier paragraphe de ce

---

<sup>1</sup> Ces aspects de la prosodie ne seront pas abordés ici.

chapitre.

Plusieurs ouvrages et articles synthétiques récents ont été spécifiquement consacrés à la prosodie du français : Di Cristo (1998), Lacheret-Dujour & Beaugendre (1999), Rossi (1999) ou Lacheret-Dujour (2000). Son étude connaît un essor particulier depuis une vingtaine d'années, notamment avec les travaux de Rossi et Hirst & Di Cristo de l'Institut de Phonétique d'Aix en Provence.

Sans ignorer l'existence d'autres modèles de la prosodie du français (Mertens 1987, 1993, Delais-Roussarie 1995, Jun & Fougeron 2000, notamment), c'est principalement à partir de ces deux conceptions « aixoises » et des connaissances plus générales en la matière que nous essaierons ici de présenter les caractéristiques fondamentales de la prosodie du français<sup>2</sup>. Ces descriptions de la prosodie du français répondent à deux approches théoriques différentes, l'une dite « phonologique » et l'autre « morphologique ».

Dans la théorie phonologique de Hirst & Di Cristo (Di Cristo 1998, Hirst & Di Cristo 1998, Hirst et al. 1999), la prosodie relève d'un module phonologique (prosodique) autonome, aveugle, dans un premier temps, aux contenus linguistiques des modules syntaxiques et sémantico-pragmatiques. Cette approche répond au principe de base d'autonomie du plan formel de l'expression face au plan du contenu linguistique, postulé par les fondateurs des théories phonologiques de la prosodie (Lieberman & Prince 1977, Pierrehumbert 1980, Goldsmith 1990) : « *A description of prosodic phrasing, the way in which a stretch of speech is divided up by prosodic means, involves two basic questions ; on the one hand the specification of prosodic constituents derived from the autonomous level of the representation of intonation [...] and on the other hand the alignment of these units with the derived other levels of linguistics representation such as syntax and semantics.* » (Di Cristo 1998 : 214).

Pour d'autres (Rossi 1999 : 50, Mertens 1987), cette position théorique est difficilement tenable dans la pratique de la modélisation prosodique, même de la part de ces partisans. Le modèle morphologique de Rossi (1999), plus proche des conceptions classiques (Delattre 1966), considère la prosodie comme un système où les unités primitives (les morphèmes prosodiques) sont définies globalement comme des signes associant plan de l'expression phonologique (forme) et plan du contenu linguistique (fonctions syntaxique, pragmatique ou phonologique). « *Les théories morphologiques sont fondées sur la notion de signe prosodique qui lie étroitement les deux faces du contenu et de l'expression [...]. Les morphèmes prosodiques ont un contenu déterminé soit par la syntaxe des constituants (frontières intonatives), soit par le module sémantique qui inclut le contenu pragmatique étranger à la syntaxe et à la 'grammaire lexicale', soit par le lexique ; car la prosodie a le lexique pour domaine par l'accent interne [...] et la syntaxe et la pragmatique pour domaine par l'intonation.* » (Rossi 1999 : 48 et 50-51).

Ainsi, ce qui distingue fondamentalement ces deux modèles prosodiques du français relève de la place occupée par la prosodie (ou plus précisément par l'intonation) face aux différents modules qui composent la représentation linguistique générale et qui traitent spécifiquement les informations syntaxiques, sémantiques, pragmatiques et phonologiques (Rossi 1999).

## 1

### **Deux niveaux prosodiques d'organisation : accentuation et intonation**

La prosodie assure une fonction principale de regroupement des éléments syntagmatiques de la chaîne parlée, c'est-à-dire de segmentation et de démarcation entre différents groupes de mots : « *On sait que, dans une phrase, les mots ne sont pas simplement juxtaposés, et qu'il est possible de les regrouper sélectivement en syntagmes de plus en plus grands, jusqu'à l'obtention de la phrase toute entière. Cette opération n'est réalisable que s'il existe quelque part un critère qui permette d'effectuer ces regroupements.* » (Martin 1981a : 237).

Au niveau phonétique, ce critère relève des variations physiques continues multi-paramétriques

<sup>2</sup> Nous renvoyons aux écrits de Lacheret-Dujour (2000), de Lacheret-Dujour & Beaugendre (1999) et de Rossi (1999) pour une présentation plus exhaustive et (plus critique) des différentes propositions théoriques.

principalement de durée, de F0 et d'intensité. A un niveau phonologique, il réfère à l'alternance d'unités abstraites (typiquement les syllabes) moins et plus saillantes, proéminentes cognitivement. Il est largement admis que la segmentation prosodique répond à deux mécanismes organisationnels ou niveaux de structuration de la chaîne sonore : l'accentuation et l'intonation.

Cette distinction entre accentuation et intonation relève des plans formel et fonctionnel et au domaine d'expression de ces deux phénomènes prosodiques. Globalement, l'accentuation répond à des contraintes morpho-lexicales ayant pour domaine le mot ou le groupe de mot, tandis que l'intonation repose sur les contraintes supra- ou post-lexicales imposées par la syntaxe et l'énonciation ayant pour domaine la phrase ou l'énoncé. Ainsi, à un premier niveau, l'accentuation rend compte de regroupements prosodiques minimaux : *groupe accentuel* (Verluyten 1982, Di Cristo 1985, Mertens 1993), *unité tonale* (Hirst & Di Cristo 1984, 1998), *mot prosodique* (Martin 1987, Fletcher 1991, Vaissière 1992, Di Cristo 1999ab) ou *unité rythmique* (Di Cristo & Hirst 1993, Di Cristo & Hirst 1996). L'intonation quant à elle, à un niveau structurel supérieur, marque des regroupements majeurs plus importants : *groupe* ou *unité intonative* et domaine du *morphème intonatif* chez Rossi. L'intonation est ainsi sous-constituée par une séquence de segments prosodiques correspondant aux regroupements opérés par l'accentuation.

L'intrication entre ces deux niveaux prosodiques, fortement ressentie en français, provient du fait que la structure intonative d'un énoncé dérive principalement de la structure accentuelle abstraite : « *L'identification et l'analyse de ces morphèmes [intonatifs] présupposent le placement de l'accent lexical. Nous considérons ce dernier comme une potentialité sous-jacente qui détermine la place des morphèmes intonatifs. En français, mis à part le marqueur de focalisation, les morphèmes intonatifs sont amalgamés avec l'accent ; dans les cas où l'accent n'est pas amalgamé avec l'intonation, il a la possibilité d'émerger comme une proéminence accentuelle dans des conditions déterminées par les contraintes phonotactiques ou rythmiques.* » (Rossi 1999 : 9).

Outre cette superposition structurelle, cette intrication est d'autant plus importante qu'intonation et accentuation sont exprimées phonétiquement par les mêmes paramètres, même si un certain nombre de travaux acoustiques récents ont pu montrer que des distinctions quantitatives et qualitatives, notamment en termes d'allongement syllabique (Campbell 1992, Astésano 1999), permettaient une distinction catégorielle entre phénomènes accentuels et phénomènes intonatifs.

Cette relation étroite a généré l'idée d'un syncrétisme entre accentuation et intonation en français. Cette hypothèse, tout d'abord défendue par Rossi (1979),<sup>3</sup> puis abandonnée par ce même auteur (Rossi 1993), repose sur l'argument principal que l'accent (final), non phonologiquement distinctif en français, n'est pas déterminé lexicalement et n'a pas de domaine propre, ou en tout cas aisément identifiable (Rossi 1985). Pour Rossi (1979, 1985), il ne relève pas du mot mais du syntagme, dont la marque est toujours intonative, même si celle-ci est dans certains cas relativement affaiblie. Le mot est donc considéré comme une unité prosodiquement amorphe totalement intégrée au groupe intonatif : « *En raison du syncrétisme de l'accent et de l'intonation dans une unité, le syntagme, où seule la modulation [...] assume une fonction linguistique, on ne peut pas identifier l'accent comme une unité indépendante. Il semble que la désaccentuation du mot dans le groupe intonatif soit un corollaire inévitable de l'état de langue sans accent. [...] Le français est une langue sans accent, en ce sens que l'accent et l'intonation ne constituent, ni par leur nature, ni par leur fonction, deux unités distinctives. Mais il reste que les morphèmes et les lexèmes ont des propriétés accentuelles : toutefois l'accentème // [des morphèmes lexicaux accentogènes] qui les caractérise n'est qu'un générateur d'intonation, il ne peut être, comme dans les langues à accent libre, un générateur d'accent de mot.* » (Rossi 1979 : 13 et 39).

Or, les travaux de Fonagy (1980), de Pasdeloup (1990), de Vaissière (1992) et de Vihanta (1993) ont démontré l'existence d'un accent initial en français contemporain dont la réalisation ne correspond pas toujours à une stratégie d'emphase ou d'insistance, mais plus souvent à des contraintes rythmiques, non restreintes à certains styles et tendant à se généraliser en français. La conception syncrétique a donc été abandonnée face à la nécessité de prendre en compte dans les modèles prosodiques du français ce phénomène accentuel indépendant de l'intonation.

Ainsi, malgré la forte intrication entre accentuation et intonation, l'accentuation conserve son indépendance face à l'intonation en français, du fait de son implication rythmique, notamment au regard de l'accent initial.

<sup>3</sup> Et implicite chez Martin (1979, 1981a, 1982) et chez Delattre (1966).

## 2

---

**Accentuation finale et initiale**

Di Cristo (1999a) définit l'accent comme « *un fait local de prééminence (assurant la promotion d'une unité de la chaîne, principalement la syllabe) qui participe à la structuration et à la hiérarchisation des unités de la langue et du discours telles que les mots, les syntagmes et des unités de rang supérieur* » (p.185).

Traditionnellement, on distingue les langues à ton des langues à accent, même si cette opposition binaire est trop restrictive au regard de la diversité du comportement prosodique des langues (Martinet 1965, Beckman 1986, Hirst & Di Cristo 1998).

La distinction entre ton et accent repose principalement sur un argument fonctionnel. Les différents tons, qui constituent les éléments d'un lexique prosodique fermé se distinguant par le patron mélodique de la syllabe, permettent exclusivement des oppositions paradigmatiques entre les mots.

L'accent assure essentiellement un contraste syntagmatique de par sa position (Martinet 1965, Garde 1968). Dans l'unité lexicale et par sa position, il peut remplir ainsi une fonction distinctive. Dans l'énoncé, il assume un rôle organisationnel des unités phoniques de la parole : fonctions démarcative et culminative de Troubetzkoy (1949). Comme l'écrit Martinet (1965) : « *L'accent sert essentiellement à individualiser les unités sémantiques dans la chaîne parlée et, par raccroc seulement, à les opposer dans le système par la place qu'il occupe dans l'unité accentuelle* » (p. 152), ou encore Beckman (1986) : « *Accent [...] seems to function less as distinctive feature than as an organizational feature.* » (p. 2).

Outre cette distinction, selon la typologie prosodique classique héritée de l'École de Prague, se distinguent langues à accent fixe et langues à accent libre.

Dans les langues à accent libre, telles que l'anglais ou l'espagnol, l'accent fait partie de la représentation lexicale du mot puisqu'il peut assumer par sa place une distinction sémantique entre deux mots segmentalement identiques. Sa place n'est pas prédictible et est apprise lors de l'acquisition de la forme phonologique du mot, au même titre que l'identité et la place des phonèmes qui le composent.

Le français, quand à lui, fait partie des langues à accent fixe, c'est-à-dire de celles, comme le tchèque ou le turc, où l'accent occupe toujours la même position dans le mot et n'assure donc pas de fonction distinctive.

### 2.1. La conception traditionnelle

Cette classification accentuelle participe largement de la conception traditionnelle du français comme une langue à oxytonie stricte, c'est-à-dire à accent final de mot ou de syntagme, proposée par les phonéticiens classiques tels que Grammont (1914, 1933), Delattre (1939, 1951), Fouché (1956) ou Pulgram (1970).

Elle repose sur l'idée, développée par Garde (1968), que tant au niveau abstrait des représentations phonologiques qu'au niveau concret des réalisations phonétiques, l'accent primaire, c'est à dire déterminé par le système de la langue et non par des facteurs extérieurs liés aux choix communicatifs du locuteur ou aux contraintes exercées par l'environnement, occupe toujours une position finale. En français, à un niveau abstrait, l'accent (« *sous-jacent* ») est décrit comme une potentialité du mot qui constitue l'unité minimale accentuelle, dont seule la dernière syllabe peut porter l'accent. Dans l'énoncé verbalisé, l'accent concret (« *effectif* ») a pour domaine non plus le mot mais le syntagme, c'est-à-dire un groupe de mots entretenant des relations sémantiques et/ou syntaxiques étroites, où seule la dernière syllabe pleine est accentuée.

Dans cette optique, les accents réalisés dans toute autre position syntagmatique sont généralement classés dans la catégorie des accents « d'insistance » et exclus de la description du système accentuel du français, parce que leur apparition ne relève pas du code de la langue, mais de stratégies de contextualisation du message. Cette dichotomie accentuelle, que l'on peut ici aisément réduire à une distinction entre accent final obligatoire et accent non final facultatif, rappelle clairement la catégorisation entre accent « *interne* » et « *externe* » de Rossi (1979) ou entre accent « *passif* » et « *actif* » de Martinet (1965).



En écartant les faits d'accentuation non finale, nombre de modèles de l'accentuation et de l'intonation en français (Martin 1979, 1981a, 1987, Rossi 1979, Dell 1984, Mertens 1987) ont négligé ou évacué, hors du système prosodique noyau de la langue, une partie des phénomènes accentuels du français.

## 2.2. Une structure accentuelle plus complexe

Cette description traditionnelle, du fait de sa vision trop restrictive de l'accentuation du français, est maintenant très largement contestée. Les travaux actuels effectués dans ce domaine estiment que le système accentuel du français est plus complexe que l'image d'Epinal d'une stricte oxytonie (Lacheret-Dujour & Beaugendre 1999, pour une revue). Ces travaux montrent que la structure accentuelle du français, à l'instar de toute langue, est en effet variable car sujette à de nombreux facteurs d'apparition de l'accent (final et non final) : morpho-syntaxique, sémantico-pragmatique et phonologique (rythmique).

Des « recensements » accentuels sur le français (Séguinot 1976, Fonagy 1980, Vihanta 1993) ont permis de reconsidérer la catégorie « fourre-tout » des accents « d'insistance ». Les accents initiaux (ou non finaux) recouvrent nombre de faits accentuels non marginaux qui ne relèvent pas de la notion d'insistance. Ces cas concernent principalement la distinction entre accent rythmique et accents sémantico-pragmatiques, qui ne répondent pas aux mêmes contraintes d'apparition.

La marginalisation des accents initiaux dans les conceptions antérieures de l'accentuation du français reposait sur le fait qu'au contraire de l'accent sous-jacent final de mot, actualisable dans l'énoncé verbalisé par l'accent effectif final de syntagme. Les accents initiaux n'étaient pas perçus comme pouvant relever des faits de langue. Ils ne dériveraient pas d'une propriété accentuelle abstraite du mot (Garde 1968) ou du morphème (Rossi 1979), et ne répondaient donc pas aux contraintes exercées par le code de la langue, leur apparition étant exclusivement conditionnée par des facteurs externes à ce système, tenant aux choix communicatifs du locuteur en interaction avec l'environnement discursif et le contenu de son message.

Cette séparation franche entre accents finaux et initiaux selon le type de contraintes (internes vs externes) ne reflète pas la réalité. En effet, certains accents non finaux, les accents dits « rythmiques », répondent également aux contraintes phonologiques induites par le code linguistique.

Rossi (1985) identifie l'« *ictus mélodique* » qui peut apparaître à l'initiale du mot sans qu'elle ne remplisse de fonction énonciative (focalisation ou emphase) propre à l'accent externe. L'apparition de cet ictus répondrait à « une règle prosodico-rythmique » selon laquelle « toute suite de 5 syllabes au moins où l'accentème /'/[c'est-à-dire l'accent sous-jacent réalisé par l'accent interne final de syntagme] fait défaut doit comporter un ictus mélodique. » (p. 151). Elle est donc également gérée par le code de la langue, cependant non pas au niveau de la représentation lexicale du mot, mais à un niveau phonologique post-lexical où un décompte des syllabes inter-accentuelles est effectué.

Plutôt qu'une dichotomie entre accent interne et accent externe, une distinction entre deux types de processus accentuels, lexicaux et post-lexicaux (Garde 1968, Di Cristo & Hirst 1997, Lacheret-Dujour 2000), est mieux adaptée à rendre compte de l'accentuation et de l'intonation en français.

Les processus lexicaux accentuels s'appuient sur la structure morpho-phonologique du mot, tandis que les processus post-lexicaux conditionnent l'apparition et la position des accents lors de l'intégration phonétique des mots dans l'énoncé verbalisé en fonction des relations sémantico-syntaxiques, des nécessités rythmiques (phonologiques) et des impératifs sémantico-pragmatiques (énonciatifs). Ce second processus est également relatif aux faits d'intonation.

## 2.3. Les processus accentuels lexicaux

Certes, on ne peut pas parler d'accent lexical pour le français dans le sens d'un accent de mot sémantiquement distinctif. Sa place étant toujours phonologiquement prévisible dans le mot, il ne ferait pas partie de sa représentation lexicale.

Néanmoins, à un niveau interprétatif abstrait, il apparaît de moins en moins évident de dénier toute

propriété accentuelle (ou prosodique) sous-jacente au mot en français, puisque la position syntagmatique du ou des accents est systématiquement fixée dans le mot en français. Dans les mots monomorphémiques, seule la dernière et/ou la première syllabe peuvent être accentuée(s) mais jamais les syllabes intermédiaires<sup>4</sup>.

Cette position rejoint celle de Di Cristo (1999, 2000a) pour qui « *le mot n'est pas prosodiquement amorphe* » et qui considère que « *le mot, qui constitue l'unité accentuelle virtuelle minimale en français, est doté dans sa représentation sous-jacente d'une prééminence initiale et d'une prééminence finale.* » (p. 193). Ce point de vue peut être appuyé par deux types d'argument : morphologique et phonologique.

Concernant l'accent final, Rossi (1979), contrairement à Garde (1968), considère que les morphèmes en français possèdent des propriétés d'accentogénéité, c'est-à-dire qu'ils sont ou non potentiellement générateur d'accent : les morphèmes lexicaux sont accentogènes et les morphèmes grammaticaux sont non accentogènes. Pour Rossi, « *l'opposition des accentèmes [accentogènes vs non accentogènes] ne joue aucun rôle dans les lexèmes en français ; mais les lexèmes possèdent tout de même une propriété accentuelle : ils sont tous générateurs d'accent ; ils sont accentogènes.* » (1979 : 21). Ainsi, si, du fait de sa position figée, l'accent sous-jacent de mot (dérivant des propriétés accentogènes de ses morphèmes) ne permet pas de distinctions sémantiques, il assoit cependant par sa présence ou son absence, des distinctions morphologiques entre mots grammaticaux (clitiques) et mots lexicaux.

La prise en compte de la forme phonologique du mot pour la position de l'accent sous-jacent final est également un argument pour une spécification accentuelle des formes lexicales. En effet, en français seules les syllabes pleines sont accentogènes. Ainsi, par exemple, dans « *parque* », prononcé [par'kæ], l'accent final sera rattaché à la syllabe pénultième et non à la dernière comme dans « *par'quer* » ou « *'parc* »<sup>5</sup>. La qualité segmentale de la voyelle exerce donc une contrainte sur la position de l'accent final dans le mot en français (comme en anglais d'ailleurs).

Concernant l'accent sous-jacent initial, il semble qu'un facteur morphologique puisse également présider à sa localisation syntagmatique en début de mot en français. Padeloup (1990) montre à propos de l'accent initial rythmique que les mots longs poly-morphémiques peuvent comporter un accent rythmique, non seulement sur la syllabe initiale du mot, mais également sur l'initiale du morphème lexical suivant un préfixe<sup>6</sup>. Par exemple, un mot tel que « *multifonctionnel* » peut montrer un accent rythmique sur « *mul* » et/ou sur « *fonc* ». A la faveur d'un exemple d'accentuation rythmique d'un adverbe en parole spontanée : « *'indis'tincte'ment* », tiré de Rossi (1999 : 195), on peut penser qu'un accent rythmique interne de mot poly-morphémique peut également apparaître en syllabe finale de morphème lexical (partie soulignée ci-dessus) suivi d'un suffixe.

Ces cas laissent penser que les morphèmes peuvent conserver leurs propriétés accentogènes même après leur intégration dans le mot, en tout cas dans les mots poly-morphémiques ou composés dont la structure morphologique est encore transparente.

L'accentogénéité pourrait donc être une propriété des morphèmes permettant de spécifier l'accentuabilité (apparition et position des accents sous-jacents) finale et initiale des mots en français dès le niveau de la représentation lexicale.

## 2.4. Accent primaire et accent secondaire

Pour Garde (1968), l'accent secondaire est propre aux langues à accent libre et fait partie des propriétés accentuelles du mot. Cette dénomination n'est donc pas appropriée au français, langue à accent fixe, où l'accent rythmique initial ne constitue qu'un « *écho* » de l'accent final.

Ce point de vue est également celui de Rossi (1985, 1999) qui ne voit pas en l'accent initial rythmique un phénomène accentuel (ne dérivant pas de l'accentuation sous-jacente du mot) mais un phénomène réduit de « *prééminence mélodique imposée par des contraintes [purement] rythmiques* » appelé « *ictus mélodique [qui]*

<sup>4</sup> Sauf des cas particuliers d'accentuation focale contrastive et emphatique.

<sup>5</sup> Le signe « ' » indique que la syllabe suivante est accentuée.

<sup>6</sup> Ce point est également relevé par Di Cristo & Hirst (1996).

*n'est pas la réalisation d'une catégorie sous-jacente comme l'est AC [accent lexical, c'est-à-dire final de mot] » (Rossi 1999 : 206 et 190).*

A l'inverse, reprenant en cela la position de Di Cristo (1999, 2000a), on peut considérer que les propriétés accentuelles sous-jacentes finales autant qu'initiales de mot sont déterminées au niveau lexical par un accent primaire et un accent secondaire.

#### **2.4.1. L'accent primaire**

L'accent primaire est l'accent principal final de mot qui est réalisé dans l'énoncé en position finale de syntagme. Il remplit essentiellement une fonction démarcative des syntagmes morpho-syntaxiques. Toute une phrase ayant une structure syntaxique, l'accent primaire fournit ainsi une base accentuelle à l'organisation sémantico-syntaxique.

Etant nécessaire à l'interprétation sémantico-syntaxique de l'énoncé, il est obligatoire : tout énoncé acceptable comporte au moins un accent final. Prosodiquement, un énoncé pourrait donc être défini comme une chaîne verbale comportant au moins un accent primaire. Un énoncé peut être minimalement un mot lexical, comme dans l'énoncé-réponse suivant (souligné) : « *Tu peux changer le bébé ? – Non.* ». L'accent final primaire constituerait ainsi la marque des regroupements sémantico-syntaxiques minimaux, ceux des mots autour d'une tête lexicale (Verluyten 1982).

L'accent primaire est à la base de la formation de l'unité minimale phonologique de regroupement syntagmatique, dénommée « *mot prosodique* » par nombre d'auteurs (Martin 1987, Fletcher 1991, Vaissière 1992, Di Cristo & Hirst 1993, Di Cristo 1999). Il induit une frontière entre des mots prosodiques successifs.

Il n'est cependant pas simplement la marque d'une délimitation des syntagmes, mais il constitue surtout la base de l'intonation (figure I.1.1), en fournissant des points d'ancrage aux marqueurs intonatifs : « *la structure accentuelle détermine la structure intonative : si un accent primaire (ou accent lexical) n'est pas nécessairement réalisé par un morphème intonatif, un morphème intonatif présuppose toujours l'existence d'un tel accent. L'accent primaire est une virtualité actualisée ou non par l'intonation en fonction d'un ensemble de contraintes de natures différentes* » (Lacheret-Dujour & Beaugendre 1999 : 189).

En ce sens, l'accent primaire est intonogène, c'est-à-dire virtuellement générateur de contour, de frontière intonative (Rossi 1979, Di Cristo 1999, 2000) qui structure prosodiquement l'énoncé à un niveau supérieur en unités plus importantes.

#### **2.4.2. L'accent secondaire**

S'agissant du français, le terme d'« accent secondaire » n'est pas toujours accepté (Garde 1968, Rossi 1979, 1999). S'il l'est (Fonagy 1980, Verluyten 1984, Padeloup 1990, Di Cristo & Hirst 1993, 1997, Di Cristo 1998, 1999, 2000 ou Lacheret-Dujour 2000), il ne répond pas à une définition homogène.

L'accent secondaire peut être considéré comme un accent sous-jacent lexical non final de syntagme, et bien initial ou final de mot. En opposition à l'accent primaire, il est facultatif et non générateur de frontière intonative.

Son optionalité est indéniable du fait qu'un énoncé peut ne compter aucun accent non final. N'étant pas constitutif des syntagmes phonologiques (ou mots prosodiques), son assignation présuppose celle de l'accent final de syntagme (Padeloup 1990, Di Cristo & Hirst 1993, 1997, Di Cristo 1998).

L'accent secondaire est principalement affecté à des fonctions énonciatives et rythmiques. Mais on peut considérer qu'il remplit aussi une fonction subsidiaire de démarcation, au moins pour trois types d'unités linguistiques :

- (1) des unités sémantiques : mots ou groupes de mots pouvant constituer des entités lexicologiques pour le locuteur, comme le « 'beaujolais nou'veau », un « 'témoin à 'charge », un « 'petit 'suisse », une « 'image d'Épi'nal », un « 'vol char'ter », les 'hommes poli'tiques, etc ;
- (2) des unités de focalisation : dans le cas d'arcs accentuels (Fonagy 1980, Di Cristo 1998, 1999, 2000ac) ;

(3) des unités prosodiques ; ainsi, Padeloup (1990) et Fougeron (1998) notent qu'un accent initial est souvent réalisé en début de phrase et qu'il peut participer à une délimitation à gauche des constituants prosodiques ; de même pour (Di Cristo (2000c) et Astésano (2002), pour qui, il participe également à la démarcation des constituants prosodiques inférieurs.

Ainsi, alors que l'accent secondaire est principalement rythmique et attracteur d'emphase (Di Cristo 1999, 2000a), l'accent primaire est principalement démarcatif et attracteur d'intonation et donc de frontière.

### 3

#### ***Accentuation post-lexicale et intonation***

Les processus d'accentuation lexicaux ne suffisent pas à rendre compte de l'accentuation des énoncés, puisque nombre d'accents sous-jacents ne donnent pas lieu à la réalisation d'accents effectifs dans l'énoncé verbalisé, et qu'ils ne sont pas directement relatifs à l'organisation de l'énoncé par l'intonation.

Cette différence entre accentuation sous-jacente et accentuation effective répond à l'application de processus post-lexicaux qui concernent les mécanismes d'intégration phonétique des mots dans l'énoncé. Le traitement post-lexical accentuel repose sur la prise en compte de trois types de contrainte : syntaxique, pragmatique (ou énonciative) et rythmique (ou phonologique).

#### **3.1. L'intonation**

L'intonation marque les regroupements prosodiques les plus importants de l'énoncé, supérieurs à ceux opérés par l'accent final de syntagme : le groupe accentuel. Les groupes intonatifs sont caractérisés par des marques suprasyntagmatiques finales de frontière plus importantes en termes d'allongement et de variation tonale (cf. §II.1:2.3.3).

L'intonation assure principalement deux fonctions au niveau de l'énoncé, comme la prosodie plus généralement : l'une de démarcation (segmentation) et d'identification, et, l'autre de hiérarchisation des constituants majeurs. Cette structuration entretient des liens étroits tant avec la structure syntaxique que la structure pragmatique de l'énoncé.

##### **3.1.1. L'intonation et la structure syntaxique**

La contrainte syntaxique est celle qui préside à l'actualisation dans l'énoncé de l'accentuation sous-jacente finale déterminant de l'unité accentuelle (Garde 1968). Elle rend compte de la fonction démarcative de l'accent final en français, c'est-à-dire de la segmentation de l'énoncé en unités prosodiques de regroupement des mots permettant l'identification d'unités structurelles cognitivement adaptées à la transmission sémantique du message.

Le mot lexical étant seul l'unité minimale potentiellement accentuable, c'est autour de lui que se regroupent les mots grammaticaux (les clitiques : articles, pronoms, prépositions...) lors de la formation de l'énoncé. On pourrait donc définir l'unité accentuelle, dans un premier temps, comme l'équivalent prosodique du groupe clitique. Or, cette détermination morpho-syntaxique est incomplète du fait qu'une séquence de plusieurs mots lexicaux peut n'être délimitée que par un seul accent final comme le groupe nominal de l'énoncé suivant : « *Elle 'veut un beau bébé 'blond* ».

L'unité accentuelle en français apparaît donc comme une unité « élastique » dont il est difficile de donner une définition non prosodique précise (Garde 1968). On peut malgré cela admettre, comme la plupart des prosodistes, que l'accent final en français est une marque du syntagme, c'est-à-dire de groupes de mots montrant des relations sémantico-syntaxiques fortes : « *L'accent étant localisé sur la dernière syllabe pleine du groupe, il permet de regrouper dans une seule unité rythmique des mots qui entretiennent des relations grammaticales étroites. L'accent primaire en français n'est donc pas comme on l'a souvent affirmé, un accent de*

*mot mais un accent de groupe.* » (Lacheret-Dujour 2000 : 250).

Au-delà du groupe accentuel marqué par l'accent final de syntagme, des regroupements plus importants sont effectués par l'intonation.

Il est aujourd'hui largement partagé que la structure intonative de l'énoncé, et plus généralement la prosodie, n'est pas isomorphique à sa structure syntaxique, du fait principalement de son implication dans l'organisation énonciative de la parole, même si la syntaxe impose des contraintes fortes : « *A reasonably general consensus [...] seems to have been reached to the conclusion that while the pragmatic reasons for dividing an utterance ultimately prevail there are nonetheless a number of syntactic constraints which to be respected. The idea that intonation units somehow constitute units of information or sense units is agreed on by most contributors [...]. They also generally agree that while there is no one-to-one correspondance between syntax and prosody, there is a tendency for intonation units to correspond to clauses.* » (Hisrt & Di Cristo 1998 : 36).

En ce sens, l'intonation est fortement déterminée par la syntaxe. Les groupes intonatifs sont toujours des constituants syntaxiques bien formés, dans le sens où ils coïncident toujours avec une frontière syntaxique (Rossi 1985, 1999 : 137).

Les phrases écrites ambiguës illustrent bien les relations étroites entre l'intonation et syntaxe du point de vue de la fonction de démarcation et d'identification des constituants supérieurs de l'énoncé.

Ainsi, dans l'exemple bien connu : « *La belle ferme le voile.* », la désambiguïsation de la phrase repose dans la réalisation de l'énoncé de la position d'une continuation majeure, marque intonative privilégiée du syntagme nominal sujet, sur « belle » ou sur « ferme ». Selon cette position, deux structures syntaxiques alternatives peuvent émerger : [la belle]<sub>sujet</sub> [ferme le voile]<sub>prédicat</sub> vs [la belle ferme]<sub>sujet</sub> [le voile]<sub>prédicat</sub>.

La segmentation prosodique opère au moyen d'un ton de frontière dont l'identification traduit la relation syntaxique, par exemple de liage/cohésion ou de disjonction/rupture entre deux constituants de la phrase. Ainsi, par exemple, dans « *Il arrive mon oncle d'Amérique.* » (Rossi 1985), la réalisation dans l'énoncé d'une intonation continuative (ct) ou conclusive mineure (cc) sur « oncle » répercute les structures syntaxiques alternatives en constituants immédiats de la phrase : [Il arrive] [(mon oncle)<sup>ct</sup> (d'Amérique)] (i.e., mon oncle qui vit en Amérique arrive.) vs [Il arrive] [mon oncle]<sup>cc</sup> [d'Amérique] (i.e., mon oncle revient d'Amérique).

Ce dernier exemple illustre également la fonction de hiérarchisation des constituants syntaxiques dans l'énoncé par l'intonation.

Reste que, notamment au regard de cette dernière fonction, l'intonation montre une certaine indépendance face à la structure syntaxique. En effet, l'intonation, par l'arrangement linéaire des marques intonatives de différents niveaux, n'accompagne que partiellement la hiérarchie de la structure syntaxique selon les différents niveaux de dérivation (degré d'emboîtement des constituants). L'intonation offre une structuration moins profonde qui ne permet pas de traduire toute la complexité syntaxique d'un énoncé.

Ainsi, selon l'exemple de Nespor & Vogel (1986), la phrase suivante, où les crochets symbolisent les niveaux d'emboîtements des constituants syntaxiques : « [C'est] [le chat qui a attrapé] [la souris qui a mangé le fromage]] » sera généralement produite en trois groupes intonatifs : [C'est le chat] [qui a attrapé la souris] [qui a mangé le fromage]. Cette réalisation montre une structure hiérarchique prosodique moins profonde, où l'enchâssement des relatives n'est pas reflété par la structure prosodique.

L'intonation semble donc plus limitée en nombre de niveaux hiérarchiques que la structure syntaxique, ce qui explique en partie sa non congruence stricte avec elle. Ainsi, bien souvent deux constituants immédiats syntaxiques de la phrase peuvent être produits en un seul groupe intonatif comme dans « *Paul aime les fruits.* », « *Il habite Nice.* » ou « *La vie est belle.* », par exemple.

Un certain nombre de raisons expliquent la possibilité de variation dans le marquage intonatif (ou prosodique) de l'énoncé au regard de sa structure syntaxique :

- (1) les variations de débit de parole : une parole rapide favorise des regroupements syntagmatiques plus importants et donc des frontières prosodiques moins nombreuses (Fougeron & Jun 1998).
- (2) le style de parole : la parole spontanée peut favoriser des regroupements également plus

importants. Ainsi, Fonagy & Fonagy (1983) rapportent qu'en parole spontanée plusieurs syntagmes syntaxiques peuvent être réalisés dans un seul groupe intonatif<sup>7</sup> et Astésano (1999) que les mots prosodiques sont plus longs en parole spontanée qu'en lecture.

- (3) les contraintes eurhythmiques relatives à la régulation des intervalles inter-accentuels expliquent également une correspondance moins étroite.
- (4) l'intonation remplit également une autre fonction linguistique majeure : une fonction énonciative permettant la mise en relief en fonction de la situation discursive des différentes informations composant le message du locuteur.

Ces deux derniers points sont abordés dans les deux paragraphes suivants.

### 3.1.2. L'intonation et l'organisation énonciative

La limitation de l'intonation dans l'expression syntaxique repose notamment sur le fait qu'elle remplit d'autres fonctions linguistiques dans l'énoncé que de traduire fidèlement les relations syntaxiques hiérarchiques des constituants. L'autre grande fonction de l'intonation est relative à la mise en perspective énonciative du message.

La fonction pragmatique est présentée comme celle qui prévaut à l'organisation de l'énoncé opérée par l'intonation (Hirst & Di Cristo 1998, Rossi 1998, Di Cristo 199ab, 2000c).

L'intonation opère un découpage du message en unités informatives hiérarchisées (groupes intonatifs) en fonction de leur contenu sémantique auquel le locuteur attribue différent degré d'importance communicative. Ainsi, en indiquant le poids informatif des unités énonciatives, l'intonation propose une mise en relief de l'information contenue dans l'énoncé en forçant certaines parties au premier ou au second plan discursif. Ce découpage hiérarchisé en groupes intonatifs repose sur la réalisation de formes ou de contours finaux marqués (frontière intonative) ou sur une signalisation par une prééminence dominante non démarcative (accent focal ou emphatique).

L'intonation effectue ainsi une mise en perspective du message selon les plans énonciatifs avant et arrière et permet sa contextualisation dans le cadre discursif particulier relatif au contexte énonciatif, en rapport avec la situation extralinguistique (les relations interactionnelles locuteur-allocutaire, l'état émotionnel, les connaissances discursives ou extra-linguistiques partagées, les intentions communicatives, etc).

La structuration intonative de l'énoncé repose principalement sur une partition sémantique entre thème, ce dont on parle, et rhème, ce qui en est dit. Le marquage intonatif de cette organisation énonciative renvoie à trois processus de mise en perspective des unités informatives du message : topicalisation, thématization et focalisation.

Par défaut, le rhème, c'est-à-dire le noyau, l'apport informatif du message, est tout l'énoncé. Il est marqué spécifiquement par l'intonation de conclusion majeure véhiculant une valeur de complétude de l'énoncé. Cette marque énonciative peut être considérée comme celle qui domine de l'énoncé (Rossi 1985, 1999).

Les opérations de thématization, de topicalisation et de focalisation<sup>8</sup>, attachées au marquage du thème, permettent de rompre la structure énonciative plate d'un énoncé rhématique en reléguant certains sujets du discours en arrière plan ou en propulsant certains autres sur le devant de la scène. La thématization et la topicalisation s'accompagnent d'une opération syntaxique d'extraction, respectivement, à droite et à gauche, c'est-à-dire en pré- ou post-position par rapport au rhème de l'énoncé.

La thématization constitue un procédé de rappel d'un élément énonciatif déjà connu et objet du message. Le constituant thématized est produit par une parenthèse intonative basse, c'est-à-dire un groupe intonatif dont la mélodie est aplatie et qui opère une rupture dans la linéarité syntaxique, mais aussi de la configuration intonative de l'énoncé, comme dans la phrase « *Il le veut enfin, son biberon, Pol .* »,

<sup>7</sup> Cité par Di Cristo (1998).

<sup>8</sup> Nous reprenons la terminologie de Rossi (1999).

par exemple (où les éléments thématiques sont soulignés). Il est ponctué par une intonation réduite, reproduisant celle du rhème sur un mode mineur (Rossi 1999), faisant apparaître que son apport informationnel est de second plan.

Dans les approches prosodiques de l'intonation, ce groupe intonatif occupe une position plus basse dans la hiérarchie des constituants prosodiques que les constituants intonatifs. Ainsi, chez Pierrehumbert (1980), il constitue une « *intermediate intonation phrase* » inférieure aux regroupements intonatifs dominants l'énoncé, « *(full) intonation phrase* » marqué par l'accent nucléaire de phrase. Dans le modèle de Hirst & Di Cristo, ce tronçon intonatif ne constitue par une unité intonative indépendante, mais un segment d'unité intonative rattaché à l'unité intonative constituée par le rhème de l'énoncé (Di Cristo 1999ab).

La topicalisation est un procédé particulier de thématisation qui permet l'annonce du sujet du message. L'élément thématique constitue le premier constituant intonatif de l'énoncé et domine par ces marques prosodiques finales (notamment par une mélodique montant extrême), comme par exemple, dans la phrase suivante : « *Pol, il a pris son biberon.* ». Il constitue donc une groupe intonatif majeur de l'énoncé ponctué par une démarcation dominante.

La focalisation concerne un procédé accentuel ou intonatif de signalisation par le locuteur d'un « centre d'attention » particulier du message, nouveau ou non. La focalisation est liée au marquage prosodique de portions discursives clefs, ressenties comme prépondérantes de la part du locuteur, pour l'interprétation correcte de son message. Elle peut faire l'objet d'une emphase, si le locuteur fait le choix d'une insistance ou d'une expressivité particulière.

L'élément informatif focalisé est propulsé en avant du plan énonciatif, non par une marque intonative démarcative, mais des configurations intonatives ou accentuelles spécifiques (accent focal), telles que celles présentées à la fin du §1.1:2 précédant<sup>9</sup>. L'élément focalisé est donc promu énonciativement par une proéminence prosodique dominante au sein de l'énoncé.

La structure intonative, de part sa fonction énonciative, ne dériverait donc pas directement de la structure sous-jacente accentuelle, mais s'y superposeraient (Di Cristo 1999c, 2000a). Dans ce sens, bien que les marques intonatives énonciatives apparaissent principalement dans les mêmes positions syntagmatiques que les accents sous-jacents (initiale, pour les accents emphatiques d'insistance, et finale, pour les accents focaux non emphatiques et les démarcations thématiques ou rhématiques), ils peuvent dans certains cas occuper des positions interdites aux accents sous-jacents, c'est-à-dire non finales et non initiales.

C'est le cas de l'accent focal contrastif permettant des oppositions sémantiques paradigmatiques, dont le domaine peut se restreindre à la syllabe ou même au segment, comme dans un énoncé du type : « *Je te parle du ra'h**at**tage, et non du ra'h**o**tage.* ».

### 3.2. La régulation rythmique de l'énoncé

A un niveau prosodique inférieure à l'intonation, l'autonomie relative de la structure prosodique face à la syntaxe est également fonction des processus de régulation accentuelle s'appliquant au sein des unités intonatives.

Nombre de travaux (Fonagy 1980, Wenk & Wioland 1982, Dell 1984, Rossi 1985, Martin 1987, Padeloup 1990) montrent que des principes rythmiques (d'ordre purement phonologique) régulent l'apparition ou la non-apparition d'accents initiaux et finaux de mot au niveau de la formation des énoncés.

La régulation de l'accentuation répond à une contrainte eurythmique. L'eurythmie accentuelle renvoie au fait qu'une régularité rythmique inhérente préside à l'apparition des accents effectifs dans l'énoncé. Deux principes essentiels sont communément admis : un principe d'évitement de collision accentuelle et un principe de limitation, ou d'équilibrage, du nombre possible de syllabes inter-accentuelles.

---

<sup>9</sup> Nous renvoyons le lecteur aux articles de Di Cristo (1998, 1999, 2000) pour une description exhaustive de ces procédés de focalisation en français.

Le premier principe, déjà énoncé par Garde (1968) au travers de la réalisation possible d'un « *écho d'accent* » en initiale de mot, stipule que deux accents ne peuvent pas se succéder dans la chaîne parlée. Les travaux de Fonagy (1980) et Padeloup (1990) montrent au contraire que deux accents successifs peuvent être réalisés ; mais, selon Padeloup seulement s'ils sont séparés par une pause ou une frontière intonative importante.

Ces faits conduisent Di Cristo (1999c, 2000a) à proposer une version plus précise du principe d'évitement de clash accentuel, dans laquelle seuls des accents de même nature (initiaux vs finaux) ne peuvent pas se suivre dans un même tronçon intonatif. Le groupe intonatif constituerait ainsi le domaine d'apparition de l'accent rythmique.

Le second principe stipule que deux accents ne peuvent pas être éloignés par un nombre trop important de syllabes inaccentuées dans un énoncé. Les études effectuées proposent généralement une longueur de 2 à 5 syllabes pour le français (Fonagy 1980, Léon 1992, Rossi 1999, Di Cristo 1999, 2000a, Jun & Fougeron 2000).

Par exemple, Padeloup (1990) observe un écart inter-accentuel moyen inférieur ou égal à 3 syllabes, Astésano (1999) à 5 entre deux accents initiaux ou finaux, et Fletcher (1991) à 5 entre deux accents finaux.

Cette régulation rythmique de l'accentuation ne concerne pas seulement les manifestations de l'accent sous-jacent initial, mais également celles de l'accent final.

Le français aurait à la fois un accent rythmique initial et final de mot. Considérons les réalisations accentuelles possibles des phrases suivantes :

[1] *Les 'mamies impa'tientes tricote'ront des 'pulls.*

[2] *Les pa'pas impa'tients boivent des 'bières.*

L'apparition des accents internes des syntagmes nominal et verbal des énoncés ci-dessus, séparés par une frontière intonative, peut s'expliquer par l'application des contraintes phonotactiques accentuelles. En effet, les groupes nominaux sujets comptant six syllabes pleines, il est probable qu'un accent rythmique initial (en [1]) ou final (en [2]) sur le premier mot lexical apparaisse pour réduire la longue série des syllabes inaccentuées précédant l'accent final de groupe.

Pour le groupe (intonatif) verbal de l'exemple [1], le fait que quatre syllabes pleines précèdent la syllabe finale accentuée laisse la possibilité d'apparition d'un accent final interne.

Dans l'énoncé [2], deux conditions phonotactiques concourent à favoriser l'apparition seule de l'accent final de groupe intonatif :

(1) le groupe intonatif (verbal) ne compte que trois syllabes pleines, ce qui est assez court pour ne pas nécessiter un second accent ;

(2) le seul autre mot lexical accentuable et non final du groupe n'est composé que d'une seule syllabe pleine et est directement précédé par une syllabe accentuée, ce qui ne favorise pas l'apparition d'un second accent.

Enfin, si différentes variantes accentuelles d'un même énoncé sont possibles (selon le « choix » du locuteur), elles sont en partie également explicables par l'influence systématique du débit et du style parole. Ainsi, un débit de parole plus important favorise des suites syllabiques inaccentuées plus grandes. D'autre part, Astésano (1999), à l'instar de Fonagy (1980), montre que la parole spontanée favorise également une distance syllabique plus importante entre deux accents par rapport à la lecture.

Ainsi, d'une part, la prise en compte des contraintes pragmatiques, syntaxiques et rythmiques obligent donc également à reconsidérer la distinction fonctionnelle entre accent final et accent initial.

En effet, l'accent final de mot pouvant remplir autant une fonction démarcative de fin de syntagme que rythmique, l'opposition fonctionnelle calquée sur l'opposition « localiste » paraît insuffisante pour rendre compte de l'accentuation et de l'intonation en français.

D'autre part, la structuration de l'énoncé opérée par la prosodie montre que différents niveaux d'organisation sont effectués.

Ces niveaux entretiennent des relations hiérarchiques au regard de l'importance fonctionnelle des



démarcations réalisées et des marques suprasegmentales caractérisant les éléments les plus proéminents de l'énoncé (cf §I.5).

## 4

### ***Des types d'accent***

La typologie accentuelle proposée ici n'a pas une valeur théorique mais plutôt pragmatique, dans le sens où elle correspond plus à un effort de précision terminologique important pour deux raisons.

Tout d'abord, la terminologie relative aux phénomènes accentuelles est relativement riche et flottante en français comme pour les autres langues (Di Cristo & Hirst 1997, Di Cristo 1999, 2000a). Il convient de préciser les termes que nous utilisons ici.

Cet éclaircissement est nécessaire du fait que nous verrons que dans un certain nombre de travaux traitant des relations entre accent et articulation supraglottique, le type d'accent n'est parfois pas précisé ou qu'il regroupe en fait des phénomènes accentuels différents (cf. Edwards et al., 1991 : 370, et Beckman & Edwards, 1992 : 370-373, pour une critique de l'article de Kelso et al. 1985). Nous verrons également que le type d'accent considéré a une influence importante sur les processus articulatoires impliqués dans le marquage supraglottique des proéminences.

De plus, la plupart des travaux présentés dans le chapitre consacré aux études articulatoires portant sur l'accent ont majoritairement été effectués sur l'anglais. L'anglais et le français ayant en outre des catégories accentuelles et des relations entre tête et frontière de constituants prosodiques différentes, il est donc important de préciser de manière explicite quel type d'accent est concerné.

Les terminologies établies selon des modèles théoriques sont également différentes et une « traduction » peut paraître de ce fait nécessaire.

Nous proposons ainsi une typologie accentuelle permettant d'étiqueter précisément les types d'accent auxquels les études articulatoires, présentées dans le prochain chapitre, font référence. Leur détermination reprend les considérations sur l'accentuation et de l'intonation du français exposées précédemment.

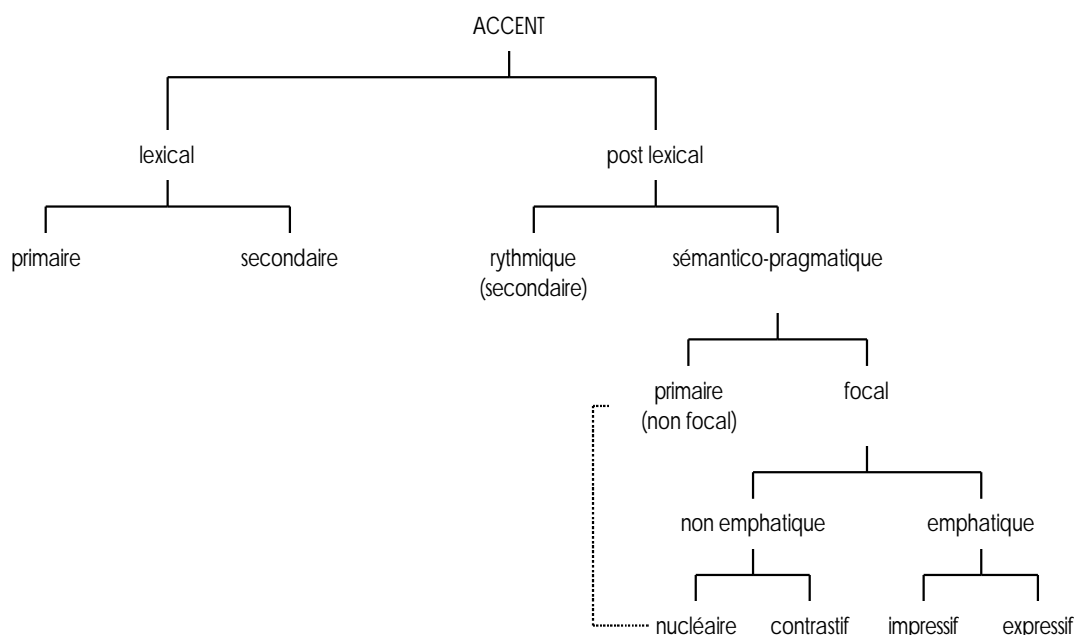
L'accent, comme on l'a vu, est une proéminence sonore locale permettant la mise en relief et la saillance perceptive d'une unité de l'énoncé (typiquement la syllabe) par rapport à ces voisines. Elle assure la promotion de cette unité par rapport aux autres environnantes, fonction « *culminative* », et/ou la délimitation des différents groupes de mots syntaxiquement, sémantiquement, pragmatiquement et/ou rythmiquement rattachés entre eux, fonction « *démarcative* », selon la distinction classique de Troubetzkoy (1949).

Un marquage suprasegmental différentiel, selon les paramètres de F0, d'intensité et/ou de durée, ou segmental, relatif à la qualité de la voyelle pour l'anglais, permet à la fois d'identifier les catégories accentuelles et de les hiérarchiser en rapport avec leur fonction linguistique dans le message et le constituant prosodique dont elles sont la tête (proéminence) ou qu'elles démarquent (frontière).

Globalement, en français, tête et frontière de constituant prosodique tendent à se superposer alors qu'en anglais elles s'individualisent : la tête étant marquée par un accent mélodique (*nuclear-pitch accent*) et la fin du constituant prosodique par une intonation de frontière distribuée sur une syllabe particulièrement allongée.

Cette typologie et la terminologie employée s'inspirent largement des travaux récents effectués sur le français en la matière par Di Cristo & Hirst (1997), par Di Cristo (1999, 2000a), et par Lacheret-Dujour (2000). La figure I.1.1 illustre selon une représentation arborescente la typologie accentuelle utilisée ici.

Nous présentons ci-dessous ces différentes catégories accentuelles dans l'ordre de leur importance prosodique relative à leur marquage phonétique et à leur fonction linguistique.



**Figure I.1.1** – Représentation de la typologie accentuelle (inspirée de Di Cristo 1999, 2000a)

#### 4.1. L'accent lexical

La première catégorie concerne l'accent lexical, c'est-à-dire l'accent distinctif de mot. Il est propre aux langues à accent fixe comme l'anglais ou l'italien et ne concerne pas le français. Cet accent par sa position permet de distinguer des mots du lexique, comme certains verbes et certains noms en anglais ( *'record*, « disque », vs *to re'cord*, « enregistrer », *'convoy*, « convoi », vs *to con'voy*, « escorter », etc.). Par rapport à la syllabe inaccentuée, il est réalisé par une voyelle pleine, c'est-à-dire non réduite/centralisée /ə/.

La syllabe accentuée se distingue principalement de la syllabe inaccentuée par sa qualité vocalique et sa durée plus longue, et optionnellement par un relief mélodique peu ample.

Les mots anglais peuvent également présenter un accent lexical secondaire, moins marqué que le premier, et qui se caractérise également par un noyau vocalique non réduit : ainsi le mot « *'proso'dy* » en anglais comporte un accent lexical primaire sur la syllabe initiale et un secondaire sur la dernière, la voyelle de la syllabe intermédiaire étant réduite.

En anglais, on peut distinguer trois niveaux de proéminences accentuelles selon la qualité et la longueur du noyau vocalique : la syllabe à une voyelle pleine et porteuse de l'accent lexical primaire, la syllabe à une voyelle pleine et la syllabe inaccentuée constituée d'un noyau vocalique réduit/centralisé.

La syllabe portant l'accent primaire lexicaux constitue la tête du pied métrique et est attracteur du *pitch accent* (accent mélodique) ou du *nuclear-pitch accent* (accent nucléaire mélodique) qui constitue la tête du constituant prosodique supérieur : l'*intermediate intonational phrase* (constituant intonatif intermédiaire) ou l'*intonational phrase* (constituant intonatif majeur) (Pierrehumbert & Beckman 1988).

La distinction des proéminences accentuelles lexicales constitue le niveau le plus bas de la hiérarchie prosodique en anglais.

Les autres accents se distinguent de l'accent lexical par le fait qu'ils ne sont pas totalement déterminés lexicalement, mais que des contraintes post-lexicales liées à la structuration prosodique de l'énoncé prévalent à leur apparition.

Deux grands types d'accents « post-lexicaux » sont distingués : les accents rythmiques liés aux contraintes phonotactiques et les accents sémantico-pragmatiques liés au marquage des frontières intonatives et à la focalisation.

## 4.2. L'accent rythmique

Les accents rythmiques constituent le niveau accentuel le plus bas en français.

Ils sont réalisés par un faible (ou aucun) allongement et/ou une montée mélodique (Di Cristo 1999, 2000a, Rossi 1999).

Ils apparaissent en interne de mot prosodique en position initiale ou finale de mot. Ils n'ont pas de fonction première proprement démarcative, mais « d'appui » rythmique dans des séquences longues entre deux accents finals de groupe ou tons de frontière.

Ces accents sont généralement qualifiés de secondaires (Lacheret-Dujour 2000, entre autres).

## 4.3. Les accents sémantico-pragmatiques

Les accents sémantico-pragmatiques marquent la structure pragmatique et syntaxique de l'énoncé. Il peuvent avoir une fonction énonciative de focalisation ou non.

### 4.3.1. L'accent primaire

Les accents non focaux en français sont relatifs à l'accent primaire, c'est-à-dire à l'accent final démarcatif de regroupement accentuel, correspondant au constituant prosodique appelé « *mot prosodique* » ou « *groupe accentuel* ».

Celui-ci constitue le niveau inférieur de l'accentuation finale de groupe ou de constituant intonatif : de l'*accental phrase* chez Jun & Fougeron (1995, 2000), de l'*unité rythmique* chez Di Cristo & Hirst (1993, 1996) ou du *mot prosodique* chez Martin (1987), Fletcher (1991), Vaissière (1992) ou Di Cristo (1999ab). Il est marqué par un allongement peu important et une montée mélodique.

### 4.3.2. Les accents focaux

Les accents focaux constituent le niveau le plus haut de la hiérarchie prosodique des proéminences, tant du point de vue de leur fonction culminative, étant les proéminences dominantes de l'énoncé, ou, en finale, de leur fonction démarcative, relative au marquage des frontières majeures de l'énoncé, que de leurs traits suprasegmentaux plus extrêmes.

Deux types d'accent sont différenciés dans cette catégorie : les accents emphatiques et les accents non emphatiques.

#### 4.3.2.a. Les accents emphatiques

Les accents emphatiques concernent les accents impressifs et expressifs. Ces deux types d'accents signalent l'implication et l'attitude du locuteur dans l'expression de son message.

Les accents impressifs pointent par intensification ou insistance à l'attention de l'interlocuteur un élément informatif ressenti comme primordial par le locuteur. Ils sont généralement portés par la première syllabe du mot à attaque consonantique ou la seconde pour un mot commençant par une voyelle. Ils sont réalisés par une montée mélodique, mais surtout une intensité plus importante.

Les accents expressifs sont relatifs à l'expression de l'affect ou d'un commentaire (surprise, ironie...) par une configuration mélodique particulière et relativement stéréotypée, constituant une sorte de lexique.

#### 4.3.2.b. L'accent focal contrastif et l'accent nucléaire

Les accents focaux non emphatiques sont de deux types : l'accent focal contrastif (parfois classés comme emphatiques selon les auteurs) et l'accent nucléaire.

L'accent focal contrastif permet un contraste paradigmatique entre des entités (segments, mots, syntagmes) pour appuyer une distinction sémantique. Il est, par exemple, employé lors d'une correction à la suite d'une mauvaise compréhension ou perception de l'interlocuteur.

Il peut être réalisé pour un contraste étroit, par exemple au niveau du segment : « *Tu as dit " C'est pire ? " - Non, j'ai dit : " C'est pur. "* », ou pour focaliser un syntagme complet (focalisation large), par

exemple : « *Tu aimes rester au lit le matin ? – Non, j'aime faire du jogging le matin* ». Dans ce cas, il peut être réalisé par un arc accentuel, c'est-à-dire un schéma intonatif bornant le syntagme par un accent initial et un accent final (Di Cristo & Hirst 1997, Di Cristo 1998).

L'accent nucléaire est l'accent de groupe intonatif qui constitue le niveau le plus élevé des constituants prosodiques de la phrase. Il est réalisé au même emplacement que l'accent primaire final en français et démarque les regroupements sémantico-pragmatiques et syntaxiques majeurs de l'énoncé. Il a donc en français non seulement une fonction d'identification et de hiérarchisation des constituants de l'énoncé, mais également de marquage de leur frontière. Il constitue une marque intonative de frontière terminale ou non d'énoncé, c'est-à-dire une configuration tonale distribuée sur une durée importante.

Cet accent peut être qualifié de « focal » dans le sens où il permet l'identification et la hiérarchisation des constituants sémantiques principaux de l'énoncé par une mise en perspective selon les plans arrière et avant énonciatifs.

Il marque les prééminences majeures de l'énoncé sans véhiculer d'informations sémantiques ou expressives particulières. En cela, il peut être considéré comme une forme non marquée de focus large, selon Rossi (1999) ou Di Cristo (2000a) : « *L'accent nucléaire constitue [...] l'élément terminal désigné d'une suite de mots appartenant au constituant focal* ».

En anglais, il correspond au *nuclear-pitch accent*. Cet accent marque les prééminences dominantes de la phrase (accent de phrase) qui constituent les têtes des constituants intonatifs supérieurs de la hiérarchie prosodique.

Outre l'identification du constituant prosodique par l'importance de l'accent mélodique, en anglais, le constituant prosodique est également démarqué par un ton intonatif de frontière (*tone phrase*, Beckman & Edwards 1992, 1994) de différents niveaux selon qu'il borne l'*intermediate* ou l'*intonational phrase*. Il est réalisé par une intonation montante ou descendante s'établissant sur une durée syllabique particulièrement allongée.

C'est sur ce double marquage des têtes et des frontières que repose la structuration prosodique en constituants. Le ton de frontière de groupe intonatif majeur est plus marqué que celui des groupes intonatifs intermédiaires opérant des regroupements inférieurs. De même pour les têtes de constituants, une hiérarchie des prééminences accentuelles comprend différents niveaux de *pitch accent* jusqu'au *nuclear-pitch accent*, constituant l'accent de phrase. Cette hiérarchie des prééminences accentuelles et des tons de frontières intonatives est l'objet des recherches de Beckman et ses collègues sur les processus articulatoires sous-jacents permettant de modéliser la durée syllabique conditionnée par chacune de ces catégories prosodiques.

## 5

### ***La hiérarchie prosodique***

Dans ce paragraphe, nous restreignons notre présentation de la notion de hiérarchie prosodique à quelques principes, différences et points communs généraux qui concernent les architectures en constituants proposées par différentes approches strictement prosodiques, et non phonologico-morpho-syntaxiques. Pour une présentation détaillée, une comparaison et une discussion théorique portant spécifiquement sur ces différents points, nous renvoyons le lecteur à l'article de Shattuck-Hufnagel & Turk (1996) et à l'ouvrage de Ladd (1996) pour l'anglais, et pour le français aux thèses de Delais-Roussarie (1995) et de Sabio (1996).

La constituance prosodique réfère à l'organisation de l'énoncé selon une structure hiérarchisée autonome, c'est-à-dire non directement relié au module de structuration morpho-syntaxique ou sémantique de la parole. Ces constituants entretiennent des relations hiérarchiques, comme on l'a vu précédemment au regard des faits d'accentuation et d'intonation en français. Les constituants prosodiques supérieurs sont déterminés par des prééminences plus saillantes et des frontières opérant

une démarcation plus importante au sein de l'énoncé. Ces différents de niveau hiérarchique s'accompagnent de marques suprasegmentales plus amples ou différentes, en termes de durée, de variations tonales et/ou d'intensité.

Dans les théories prosodiques, deux approches de la structure hiérarchique se distinguent selon le type de critères invoqués pour définir les constituants prosodiques : morpho-syntaxiques et phonologiques, pour les premières, et purement prosodiques pour les secondes.

Le premier type de modèles hiérarchiques prosodiques constitue une théories des domaines. Les constituants prosodiques sont déterminés selon des critères morpho-syntaxiques, sémantiques ou phonologiques et constituent les domaines spécifiques d'application de phénomènes phonétiques ou phonologiques réguliers.

Ce type de modèles présentent un grand nombre de niveaux hiérarchiques, dont peu reposent sur une détermination purement suprasegmentale, comme le groupe intonatif (« *intonational phrase* »). Ainsi, sept niveaux ou constituants sont définis par Nespor & Vogel (1986) et Selkirk (1984), allant, du plus bas au plus élevé, de la More (Selkirk) ou de la Syllabe (Nespor & Vogel) au Groupe Intonatif (Selkirk) ou à l'Énoncé (Nespor & Vogel).

Pour Selkirk, cette structure prosodique du module phonologique permet de rendre compte des liens entre syntaxe et phonologie. Cette architecture en constituants hiérarchisés de la structure phonologique est à la base des approches purement prosodiques de la structure intonative et accentuelle hiérarchique de l'énoncé.

### 5.1. Une hiérarchie des proéminences

Les théories strictement prosodiques déterminent les constituants prosodiques par le niveau des proéminences accentuelles de l'énoncé. Les proéminences sont relatives à la mise en relief syntagmatique d'une unité (typiquement la syllabe) par rapport aux unités voisines dans la chaîne phonique.

Liberman & Prince (1977) rendent ainsi compte par l'alternance entre syllabe proéminente (*strong*) et non proéminente (*weak*) de la structure rythmique de l'énoncé en anglais, selon un nombre de niveaux théoriquement illimité (Dell 1984, pour une application au français).

Les développements ultérieurs de la théorie métrique limite le nombre de ces niveaux et relie proéminence et constituance prosodique. Ainsi, Halle & Vergnaud (1987) identifient selon une relation bi-univoque le niveau du constituant prosodique en fonction de l'importance de la proéminence qui en constitue la tête.

La structure prosodique constituante repose donc non seulement sur un contraste syntagmatique entre les syllabes de l'énoncé, mais également sur une relation paradigmatique relative au type d'accent déterminé par sa fonction au sein de l'énoncé et par les traits suprasegmentaux qui le déterminent : « *Le système accentuel d'une langue peut-être décrit en termes de niveaux hiérarchiques d'accentuation et [...] ces niveaux correspondent à des catégories accentuelles pour lesquelles il convient de spécifier une tête (ou élément terminal désigné) et un domaine [constituant]. [...] On peut avancer l'hypothèse qu'à chaque niveau de la structure les unités concernées peuvent être définies par les traits de marquage de tête [...] qui font intervenir à la fois des aspects tonals, des aspects intensifs et des aspects temporels* » (Di Cristo 1999c).

Ainsi, en anglais, au moins quatre niveaux de constituance peuvent être identifiés selon le degré et la nature de la proéminence accentuelle qui en constitue la tête : la syllabe à voyelle réduite inaccentuée (*unstressed*), la syllabe à voyelle pleine portant l'accent lexical (*stressed*), la syllabe accentuée de groupe accentuel (*pitch accent*) et la syllabe accentuée de groupe intonatif (*nuclear-pitch accent*) (Beckman & Edwards 1990, Beckman & Edwards 1992, Beckman & Edwards 1994). Chaque niveau de proéminence est associé à un constituant particulier, respectivement : la syllabe, le pied métrique (*stress foot*), le groupe accentuel (*accentual phrase*) et le groupe intonatif (*intonational phrase*).

Ces niveaux sont caractérisés par des marques phonétiques particulières affectant les têtes. Ainsi, le pied repose sur spécification relative à la qualité de la voyelle de la syllabe tête (voyelle pleine vs réduite), la tête des constituants supérieurs est marquée par une excursion mélodique.

## 5.2. Une hiérarchie des frontières

A cette hiérarchie des proéminence, répondant à la fonction classique culminative, une hiérarchie parallèle concerne celle des frontières, reprenant l'autre fonction classique démarcative (Troubetzkoy 1949).

La hiérarchie des frontières est relative à l'importance de la démarcation finale délimitant le constituant prosodique. Selon son niveau, une marque spécifique peut être réalisée. Ainsi, dans le modèle de Pierrehumbert et Beckman (1986), les niveaux intonatifs les plus hauts de la hiérarchie (*intermediate* et *full intonational phrase*) reposent sur l'identification de la tête (*nuclear pitch accent*) associé à un ton de frontière final (*boundary tone*).

Néanmoins la distinction paramétrique des niveaux intermédiaires (*accentual phrase* et *intermediate intonational phrase*<sup>10</sup>) avec le niveau supérieur (*full intonational phrase*) n'est pas évidente et est difficile à établir en fonction des traits tant relatifs aux têtes qu'aux tons de frontière (Shattuck-Hufnagel & Turk 1996 : 211). Beckman & Edwards (1990) rapportent cependant que le groupe accentuel et le groupe intonatif (*full*) peuvent être distingués en fonction de deux degrés d'allongement final croissant selon le niveau hiérarchique du constituant.

Les travaux acoustiques de Ladd & Campbell (1991) et perceptif de Wightman et al. (1992) confirment le fait qu'il est possible de distinguer un nombre limité de différents niveaux hiérarchiques structurels prosodiques sur la base d'un degré l'allongement final catégoriel.

Ces deux hiérarchies, de proéminences et de frontières, sont cependant très reliées, puisque toutes deux participent parallèlement à l'identification et la démarcation des mêmes niveaux de constituance. Si en anglais ces deux types de marquages peuvent être en partie distinguer du fait d'un individualisation assez marquée de ces deux catégories prosodiques (Pierrehumbert & Beckman 1988, Beckman & Edwards 1992), en français la distinction est plus difficile du fait que la proéminence accentuelle est très souvent finale et a un caractère démarcatif.

## 5.3. La hiérarchie des constituants prosodiques en français

Ainsi, en français, la proéminence/tête et la frontière qui déterminent les niveaux des constituants sont superposés, du fait de l'apparition des proéminences en syllabe finale. Seul le modèle Hirst & Di Cristo (Hirst & Di Cristo 1984, Di Cristo & Hirst 1996) accorde le statut de tête à l'accent initial (non démarcatif) dont le domaine est l'Unité Tonale (ou pied métrique) définit comme une suite de syllabes bornée par une syllabe accentuée (accent final ou initial). Ce constituant représente le niveau le plus bas de la hiérarchie prosodique. D'autres modèles considèrent également l'accent initial, mais dans le cadre du Groupe Accentuel (Jun & Fougeron 1995, 2000) dans lequel il est une proéminence secondaire qui ne constitue pas une tête, globalement l'équivalent de l'Unité Rythmique<sup>11</sup>.

En dehors de la syllabe, dont on peut considérée qu'elle constitue le niveau le plus bas de la hiérarchie prosodique (étant l'unité d'organisation phonémique), deux niveaux de constituance prosodique sont communément partagés par les différents modèles.

Le premier concerne le niveau le plus haut de la hiérarchie prosodique, à savoir le groupe intonatif. Il est le domaine de l'accent nucléaire final et est marqué par un allongement important, une montée ou un chute mélodique dominante (ton de frontière/accent nucléaire final), une pause facultative et est caractérisé par une cohésion tonale interne, relative à l'abaissement ou le rehaussement progressif des montées mélodiques successives marquant les regroupements prosodiques inférieures en son sein (Hirst & Di Cristo 1996, Di Cristo & Hirst 1996). Il correspond à l'Unité Intonative dans le modèle de Hirst & Di Cristo, à l'Intonational Phrase de Jun & Fougeron et au Groupe Intonatif de Mertens (1993). Dans le modèle morphologique de Rossi (1999), il renvoie au même niveau que les morphèmes

<sup>10</sup> Niveau non présent dans la hiérarchie ci-dessus.

<sup>11</sup> Néanmoins, le Groupe Accentuel de Jun & Fougeron se rapprocherait d'avantage de l'Accentual Phrase ou l'Intermediate Phrase de Beckman & Edwards (1990) dans le sens où elle est marquée par une intonation finale et non un accent, à l'inverse de l'Unité Rythmique de Di Cristo & Hirst (1993).

intonatifs.

Le second, même s'il ne recoupe pas exactement les mêmes acceptions selon les modèles, est relatif à un niveau inférieur et constitue le domaine de l'accent final démarcatif de syntagme ou de l'intonation mineure (continuation mineure). Il est marqué par un allongement final moins important, une montée mélodique non dominante dans l'énoncé, et est n'est pas suivi d'une pause. Ce niveau sous-constitue le niveau intonatif supérieur. Il correspond à l'Unité Rythmique chez Hirst & Di Cristo, à l'Accentual Phrase chez Jun & Fougeron, au Groupe Accentuel chez Mertens, et au Mot Prosodique chez Di Cristo (1999ab). Ce constituant peut compter un accent interne non démarcatif (final ou initial), c'est-à-dire rythmique.

Entre et au-dessus de ces niveaux hiérarchiques d'organisation prosodique de l'énoncé, les positions divergent et les solutions proposées restent relativement empiriques.

Pour rendre compte de regroupements prosodiques « supérieurs » au groupe intonatif, Hirst & Di Cristo et Mertens adoptent la possibilité d'une récursivité dans la représentation hiérarchique de l'énoncé. Ainsi, un groupe intonatif peut contenir plusieurs groupes intonatifs donnant lieu à une unité structurelle supérieure : une Macro-Unité Intonative chez Di Cristo & Hirst (1996) ou un Package chez Mertens (1993).

En deçà, comme on l'a vu seul le modèle de Hirst & Di Cristo proposent une unité prosodique minimale constituée par un seul accent : l'Unité Tonale (ou Pied Métrique).

L'exemple ci-dessous illustre une réalisation prosodique de la phrase dont la structure prosodique en constituants hiérarchiques de l'énoncé est représentée par l'organisation suivante : syllabe < pied métrique < groupe accentuel < groupe intonatif :

<i>Groupe Intonatif</i>	[	x	]	[				x	]	[							x	]	<i>accent nucléaire</i>
<i>Groupe Accentuel</i>	(	x	)	(	x	)	(	x	)	(	x	)	(	x	)	(	x	)	<i>accent fin. démarc.</i>
<i>Pied Métrique</i>	/	x	/	/	x/	/		x	/	/	x/	/	x/	/	x/	/	x/	<i>accent</i>	
<i>Syllabe</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	<i>syllabe</i>	
<b>constituant</b>	Le <u>soir</u> , le <u>fil</u> s de la pa <u>trone</u> ne <u>ttoie</u> sa <u>mer</u> ce <u>des</u> .																	<b>proéminence</b>	

Cette hiérarchie en niveaux de constituance prosodique s'accompagne au niveau phonétique par des marques suprasegmentales distinctives et/ou plus amples selon l'importance du constituant, et donc de la frontière démarcative finale. Ces marques sont relatives au degré d'allongement de la syllabe finale (Ladd & Campbell 1991, Wightman et al. 1992, Astésano 1999), à l'amplitude et au sens de la variation mélodique (Rossi et al. 1981, Martin 1982), aux variations d'intensité (Rossi 1999) et à la réalisation d'une pause silencieuse (cf. §II.1:2.3.3).

Dans ce chapitre très général, nous nous sommes contentés de présenter la dimension prosodique de la parole au travers de l'exemple du français, en proposant une comparaison ponctuelle avec l'anglais.

Nous nous sommes concentrés sur les points apparaissant comme les plus consensuels au regard des connaissances actuelles, même si nombre d'entre eux font l'objet de débats plus théoriques (comme la question de la représentation en constituants de la structure prosodique ou celle de l'accent lexical en français).

Certains points plus précis pourront être discutés dans le cours de notre travail, tant dans la partie consacrée à la constitution et la validation de la hiérarchie prosodique proposée ici, que relative à l'interprétation générale des résultats.

Dans ce chapitre, nous avons également introduit une typologie accentuelle et la notion de hiérarchie prosodique, tant des constituants, des frontières que des proéminences, nécessaire pour aborder les travaux relatifs à l'articulation supraglottique sous l'accent et au marquage articulatoire des constituants prosodiques selon leur niveau hiérarchique dans la représentation de la structure de l'énoncé.

## Chapitre 2

### ***Co-variations articulatoires de la structure prosodique***

Dans ce chapitre, nous présentons ce qui nous paraît constituer l'essentiel des connaissances actuelles concernant les processus articulatoires supraglottiques participant à la production des proéminences accentuelles et des frontières de constituants prosodiques.

Il ne s'agit pas ici de proposer un « état de l'art » exhaustif ou historique voulant rendre compte de tous les résultats ou de toutes les hypothèses qui ont pu être obtenus ou retenus concernant les marques supraglottiques de l'accentuation et de l'intonation. Nous nous sommes concentrés sur les études récentes ou moins récentes qui proposent un modèle ou une hypothèse sur la nature et l'importance des processus phonétiques d'articulation supraglottique en relation avec les différents types de proéminences accentuelles ou avec la constituance prosodique.

Dans un premier temps, nous nous intéressons aux principales hypothèses qui ont été émises sur la nature des processus articulatoires sous-jacents de marquage de l'accent et aux principaux travaux qui permettent de les valider. Nous abordons ainsi dans un premier temps l'hypothèse du renforcement articulatoire par augmentation de la force d'articulation (Straka 1963), puis celle du renforcement du contraste sonore (Beckman et al. 1992), et enfin celle d'un renforcement des caractéristiques articulatoires distinctives (de Jong 1995). Cependant, nous verrons que ces différents modèles ne sont pas strictement opposables et qu'une convergence est largement envisageable.

En fin de cette première partie, nous rendons compte, à travers un certain nombre de travaux récents, de l'importance de la prise en compte de la dynamique spatio-temporelle intra- et inter-gestuelle des gestes articulatoires pour la description et la compréhension des processus supraglottiques sous-jacents impliqués dans le marquage articulatoire de l'accent et des frontières intonatives. Ces travaux empruntent principalement le cadre conceptuel proposé par la Phonologie Articulatoire (Browman & Goldstein 1989, 1992) et le modèle de la Dynamique de Tâches (Saltzman & Munhall 1989).

Enfin, nous résumons les résultats des travaux ayant mis en évidence l'existence d'un marquage articulatoire supraglottique renforcé graduellement en fonction de l'importance hiérarchique des frontières de constituants prosodiques.

## 1

### ***Les processus articulatoires de marquage supraglottique de l'accent***

La plupart des travaux concernés par les co-variations supraglottiques de l'accent et présentés ici portent sur l'accent lexical, l'accent nucléaire ou l'accent focal contrastif. Très peu concernent les accents secondaires (lexicaux ou post-lexicaux) et aucun les accents emphatiques, tels que nous les avons classifiés.

Dans cette partie, nous présentons trois hypothèses cherchant à rendre compte des processus et mécanismes articulatoires pouvant expliquer les co-variations supraglottiques observées en fonction de l'accentuation ou de l'intonation.

La première hypothèse, la plus générale, considère que l'accent provoque un renforcement articulatoire local reposant sur une activité musculaire plus importante.

La seconde propose que les modifications articulatoires liées à l'accent supposent une stratégie de mise en valeur du noyau vocalique par un accroissement de son énergie acoustique, favorisé par une ouverture maximalisée du conduit vocal.



La troisième voit dans les corrélats supralaryngés de l'accent l'expression d'un impératif d'optimiser le contraste paradigmatique segmental par une hyperarticulation portant sur les traits distinctifs phonémiques des segments.

Cependant, nous verrons que ces propositions ne sont pas totalement contradictoires, notamment au regard de la dimension spatio-temporelle inhérente aux gestes et aux enchaînements articulatoires.

## 1.1. Un renforcement par augmentation de la force articulatoire

La première hypothèse est relativement ancienne et globalisante, dans le sens où elle ne porte pas spécifiquement sur les co-variations articulatoires liées aux faits d'accentuation, mais sur un processus plus général pouvant rendre compte tant des évolutions phonologiques diachroniques (Straka 1964) que des variations phonétiques et articulatoires physiologiquement conditionnées et résurgentes en fonction de la position syntagmatique des segments, de l'accentuation, ou du type de parole considéré (Straka 1963, 1965).

L'hypothèse émise par Straka (1963) ne lui est pas propre (Rousselot 1897-1901, par exemple), mais trouve sa source dans l'idée générale que la parole, comme tout acte biologique, est caractérisée par la modulation de l'activité et de l'effort énergétique et musculaire, accru en fonction d'impératifs linguistiques, comme la réalisation d'accent ou de début de mot..., ou extra-linguistiques comme une prononciation marquée.

Le mérite particulier de Straka tient au fait qu'il rend compte grâce au processus de renforcement par la « *force articulatoire* » d'un grand nombre de phénomènes de variations phonétiques et phonologiques systématiques. Ils concernent tant l'influence des positions syllabiques et lexicales ou du type de parole (Straka 1963, 1965), les variations phonologiques diachroniques entre le latin et le français, induits par le renforcement en initiale de mot/syllabe ou sous l'accent et par l'affaiblissement en finale (Straka 1964), que la distinction linguistique entre les catégories macro-phonologiques des voyelles et des consonnes (Straka 1963).

### 1.1.1. La notion de force articulatoire

Comme le note Slis (1971), la définition de la force articulatoire est toujours relativement générale (Delattre 1940a, Malécot 1955) et repose en grande partie sur une intuition.

Straka (1963) définit la force ou l'énergie articulatoire par « la force de contraction des muscles entrant en action pour l'articulation donnée [...] en renforçant l'articulation, c'est-à-dire en envoyant des influx nerveux plus nombreux dans un nombre plus élevé, voire dans la totalité des fibres, on renforce la contraction des muscles entrant en jeu » (p. 49).

Cet effort articulatoire est le pendant supraglottique de l'activité respiratoire subglottique : « L'effort articulatoire et l'effort expiratoire constituent deux composantes spécialement importantes de l'intensité physiologique générale des sons du langage » (p. 62).

Pour Stetson (1928), la syllabe est une unité motrice correspondant à un pic d'expiration d'air phonatoire dû à la contraction des muscles intervenant dans la respiration. La syllabe est physiquement déterminée par une impulsion lors de l'expiration (« *chest pulse* ») : « *Basically the syllable is a puff of air upward through the vocal canal by a compression stroke of the intercostal muscles* » (p. 200). Cette correspondance systématique entre une syllabe et un pic aérodynamique d'activité expiratoire a été infirmée par Ladefoged et al. (1958). Ces auteurs montrent en effet, qu'en parole continue, un pic d'activité expiratoire est réalisé pour un groupe de syllabes, et que cette séquence syllabique correspond plutôt au groupe de souffle ou au groupe rythmique. Il apparaîtrait donc que ce soit plutôt l'accent ou les syllabes fortes qui occasionnent un effort local expiratoire.

Cette idée est confortée par nombre d'études qui attestent que la force expiratoire est plus importante juste avant ou au début d'un segment accentué (Ladefoged 1967). Ainsi, Malécot (1968) observe que la pression intra-orale est plus importante pour les occlusives et les fricatives avant une voyelle accentuée qu'après. Löfqvist (1975) montre que la pression subglottique est accrue pour les occlusives en syllabe accentuée. Lehiste (1970) résume la situation ainsi : « *Ultimately, differences in stress are due to difference in*

*physical effort. The effort is reflected directly in the activity of muscles involved in respiration, and indirectly in subglottal pressure* » (p. 106).

Cet effort articulatoire ne concerne pas seulement l'activité physiologique subglottique mais également l'activité musculaire supraglottique.

Öhman (1967) postule l'existence d'un « *stress pulse* » (version supralaryngée du *chest pulse* de Stetson) qui correspond à l'activité musculaire accrue des organes de phonation et d'articulation de la parole lors de réalisation d'un accent. Cette notion permet d'englober les différents corrélats phonétiques de réalisation de l'accent.

Au niveau supraglottique, il se traduit par des mouvements articulatoires de la langue, des lèvres, du voile et de la mandibule plus énergiques et plus rapides qui provoqueraient un chevauchement articulatoire moins important entre gestes vocaliques et consonantiques au sein de la syllabe accentuée.

Cette augmentation de l'effort musculaire des articulateurs supraglottiques a été montrée, entre autre, par Slis (1971) à partir de mesures électro-myographiques de l'activité des muscles des lèvres en néerlandais. Slis observe que les contractions sont plus importantes pour la consonne /p/ de syllabe accentuée que de syllabe inaccentuée. De plus, cette activité est d'autant plus grande que l'accent est marqué : l'effort musculaire étant plus important sous un accent focal contrastif qu'un accent lexical.

### 1.1.2. Les travaux de Straka

Les travaux de Straka (1963, 1965) sur le renforcement des articulations supraglottiques par l'augmentation de l'énergie articulatoire dans les positions syntagmatiques fortes (initiale de mot ou accentuée) ne reposent pas sur une validation physiologique de ce type, mais sur des mesures de la position des différents organes articulatoires à partir de clichés cinéradiographiques. Il ne peut donc pas directement corrélérer ses données à une activité musculaire effectivement accrue des organes observés.

Cependant, il déduit du sens de variation et de la position des gestes, quels muscles sont impliqués dans les mouvements observés, et qu'une position plus extrême correspond à une activité plus longue et plus énergique des muscles permettant de l'atteindre.

Straka n'indique pas non plus clairement quel type d'accent il observe. Il parle d'un « *accent d'insistance* » (Straka 1963 : 39), mais on peut penser au regard du corpus transparaisant qu'il mélange les données relatives à des accents emphatiques et à l'accent primaire de groupe ou nucléaire intonatif. Son hypothèse et ses résultats n'en sont pas moins intéressants.

Il montre que, « *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* » (p. 35). Ainsi, il observe que l'angle maxillaire augmente pour la voyelle ouverte /a/ comme pour la voyelle fermée /i/, et diminue pour les consonnes en positions fortes (initiale ou accentuée) ou en prononciation renforcée. Dans les mêmes contextes, du point de vue de l'articulation linguale, la langue est plus haute pour les consonnes et la voyelle fermée /i/, alors qu'elle est plus basse pour /a/. De plus, les gestes mandibulaires comme linguaux sont allongés en contextes marqués.

Ces résultats sont confirmés par les études du même type et de la même époque de Simon (1967), de Brichler-Labaeye (1970) ou de Giot (1977). Ces études comparent les articulations linguales et mandibulaires de consonnes et de voyelles (/a/ seulement pour Simon et Brichler-Labaeye) en syllabe finale de phrase portant un accent final nucléaire et en syllabe pré-tonique inaccentuée.

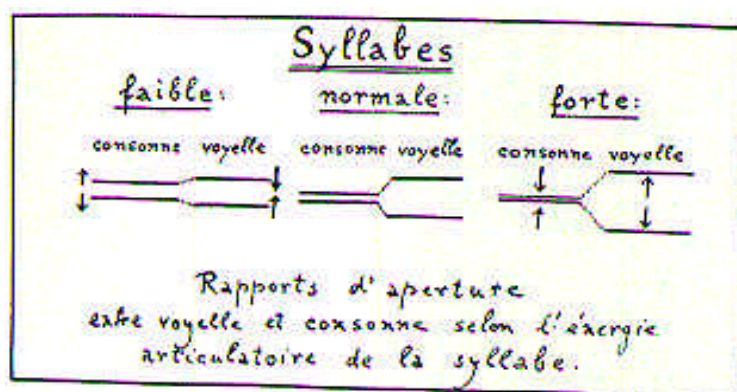
Leurs résultats révèlent en position inaccentuée une hauteur linguale plus importante, une position maxillaire plus basse, une réduction de la durée des gestes et un raccourcissement ou une absence totale de tenue articulatoire pour /a/. Les consonnes du français (/t/ chez Brichler-Labaeye) se caractérisent par une constriction linguale ou labiale (Giot 1977) moins ample, une ouverture mandibulaire moins grande, une durée plus brève et une tenue réduite ou absente en syllabe inaccentuée. Giot (1977) observe, pour la voyelle fermée /i/, un conduit vocal plus ouvert par une position linguale et mandibulaire plus basse en contexte inaccentué que sous l'accent.

Ainsi, tous notent qu'une position inaccentuée implique toujours une réduction de la durée du geste

qui ouvre les voyelles fermées (/i e ε/ chez Giot) et les consonnes, et qui ferme la voyelle ouverte /a/.

Ce comportement antagoniste des différentes catégories vocaliques et des consonnes guidé par la force articulatoire est à la conclusion du travail de Straka (1963) qui écrit : « *le renforcement articulatoire ne porte que sur les muscles qui assument le travail essentiel, sur les éleveurs pour les consonnes, sur les abaisseurs pour les voyelles* » (p. 92). Cette dernière remarque est cependant en partie fautive puisqu'il montre que /i/ a une position linguale plus haute en position forte, comme Giot (1977).

Ce processus d'ouverture des voyelles et de fermeture des consonnes dans les positions fortes, dont l'accent, rappelle sans équivoque l'hypothèse plus récente d'un contraste d'ouverture du conduit vocal maximalisée sous l'accent de Macchi (1985) ou de Beckman (Edwards & Beckman 1988, Beckman et al. 1992). Straka (1963) illustre ce processus dans les syllabes fortes par la figure I.2.1 suivante :



**Figure I.2.1** – Reproduction de l'illustration par Straka (1963 : 41) du contraste d'aperture entre la consonne et la voyelle appartenant à la syllabe occupant une position syntagmatique forte (initiale de mot ou accentuée) ou dans une prononciation renforcée par rapport à une position « normale » (inaccentuée)

La consonne et la voyelle de syllabe forte se renforcent dans un sens vertical opposé produisant un contraste d'aperture CV maximalisé. Acoustiquement, le contraste d'énergie est alors plus important pour la voyelle par rapport à la consonne, ce qui correspond clairement à l'hypothèse de *Sonotity Expansion* faite par Beckman, pour le marquage segmental des syllabes accentuées (cf. §I.2:1.1.2).

Les résultats de Straka concernant le rapport entre la durée des gestes articulatoires et l'ouverture du conduit vocal fait largement écho aux travaux acoustiques de la même époque de Lindblom (1963) sur la réduction des voyelles inaccentuées en suédois.

Straka, comme Brichler-Labaeye (1970), note que la durée est plus importante pour les voyelles ouvertes que pour les voyelles fermées. Il établit une relation de dépendance dans l'amplitude d'ouverture du conduit vocal en fonction de la durée allouée au geste vocalique. S'agissant du contraste accentuel, qui induit un allongement en position accentuée, Straka écrit : « *Il nous paraît donc probable que, par rapport à la même voyelle accentuée, une voyelle inaccentuée est avant tout une voyelle abrégée et que la modification d'aperture qu'elle subit, modification intimement liée à la durée, n'est qu'une conséquence de son abrègement* » (p. 58). Les consonnes suivent le même comportement, mais au regard de leur fermeture : elles sont moins longues et moins fermées en position inaccentuée.

Cette proposition est équivalente à la notion d'*undershoot* de Lindblom, qui pose les bases de la théorie adaptative de l'Hyper- & Hypospeech (Lindblom 1990).

Le propos de Straka n'est cependant pas de déterminer la nature précise du processus qui concourt à l'articulation supraglottique de l'accent. Il garde un objectif et un point de vue très général relatif à la distinction phonologique synchronique entre catégories vocaliques fermées vs ouvertes et catégorie consonantique, et à l'évolution diachronique du système phonologique entre latin et français (Straka 1964). Néanmoins, on peut noter que ces recherches font écho à deux hypothèses principales récentes quant à la nature articulatoire des marques segmentales de l'accent.

La première est relative à la maximalisation de la sonorité des voyelles en syllabes accentuées. La seconde, s'appuyant sur la théorie Hyper- & Hypospeech de Lindblom (1990), considère les syllabes accentuées comme le domaine d'un renforcement des traits distinctifs phonémiques.

## 1.2. Un contraste de sonorité maximalisé

Beckman et ses collègues (Edwards & Beckman 1988, Beckman & Edwards 1992, Beckman et al. 1992) proposent que la proéminence accentuelle repose au niveau supraglottique sur une stratégie visant à augmenter l'énergie acoustique globale (*Sonority Expansion*) de la syllabe par une ouverture spécifique à la voyelle. L'accroissement de la sonorité générale de la syllabe sous l'accent nucléaire est réalisé par des manœuvres articulatoires supraglottiques distinctives permettant une ouverture plus importante et plus longue du conduit vocal lors de l'articulation du noyau vocalique.

L'allongement différentiel en fonction du marquage des têtes (accent nucléaire) et des frontières finales de constituants intonatifs (ton de frontière), ou de l'accent lexical (« *stress* »), serait mieux prédit par un modèle de timing articulatoire segmental reposant sur une propriété sous-jacente dynamique spécifiée en terme de profil de sonorité que par sa durée acoustique.

Cette hypothèse de Beckman<sup>12</sup>, relative à un marquage des proéminences accentuelles reposant sur la réduction de l'impédance acoustique du noyau vocalique, est très proche de la proposition de Macchi (1985) : le modèle de *Jaw Expansion* (selon le terme de de Jong et al. 1993).

Macchi montre qu'en anglais l'accent lexical provoque un abaissement important de la mâchoire inférieure et de la langue pour les voyelles ouvertes (/ɑ, ʌ/). Les voyelles fermées (/i, u, ε/) montrent également une ouverture mandibulaire plus grande, mais maintiennent leur constriction linguale qui n'est ni plus large ni plus resserrée. Cette ouverture mandibulaire est aussi beaucoup plus longue. A l'inverse, les consonnes sous l'accent sont réalisées avec une fermeture plus extrême et plus longue.

Elle attribue les effets de l'accent à une expansion, une amplification spatiale et temporelle, du cycle d'ouverture mandibulaire des voyelles portant l'accent lexical.

### 1.2.1. Une ouverture mandibulaire plus importante sous l'accent

Cet effet de l'accent sur l'amplitude d'abaissement de la mandibule est notamment pointé par Kozhevnikov & Chistovich (1965) sur une réalisation du mot ['baba] : « *lowering of the jaw is three to five-fold greater in accented syllables than unaccented ones.* » (p. 184).

Ce phénomène a été spécifiquement étudié dans de nombreux travaux plus récents (principalement sur l'anglais) pour différents types d'accent. La plupart concernent essentiellement les voyelles ouvertes ou basses (Fletcher et al. 1994 ou Harrington et al. 1995, par exemple), bien que certaines études montrent que la mâchoire peut également, selon les sujets, être abaissée pour les voyelles hautes accentuées comme /i, ɪ/ (Kent & Netsell 1971, Farnetani & Faber 1992, Rietveld & van Lieshout 1995, Fletcher et al. 1996 ou Harrington et al. 2000).

Summers (1987) étudie en anglais l'effet de l'accent focal contrastif sur les mouvements d'ouverture et de fermeture de la mâchoire inférieure pour les voyelles /ʌ/ et /æ/ en contexte inter-consonantique labial.

Il montre que ces mouvements sont plus longs, amples et rapides en position accentuée, reproduisant les résultats obtenus par Kelso et al. (1985) sur les mouvements de la lèvre inférieure. Il note également la réalisation d'une tenue d'ouverture mandibulaire maximale plus longue sous l'accent. De plus, la position de la mâchoire en fin de voyelle, c'est-à-dire au terme du geste de fermeture pour la consonne labiale suivante, est plus haute quand la voyelle est accentuée.

Ce dernier point montre que le contraste d'ouverture entre la voyelle accentuée et la consonne subséquente est maximalisé, participant ainsi à une mise en relief syntagmatique local plus importante du noyau syllabique sous l'accent.

<sup>12</sup> Nous ne précisons plus « *et ses collègues* », la cause étant entendue.

Cet effet d'un contraste local est spécifiquement étudié par Erickson & Fujimura (1996) et Erickson (1998) concernant le même type d'accent sur la voyelle /a<sup>i</sup>/ en anglais. L'accent focal rend compte au niveau de l'articulation mandibulaire de deux types de contraste.

D'une part, l'abaissement de la mâchoire inférieure plus ample et plus long pour la voyelle accentuée provoque un rehaussement local de sa position verticale dans la consonne et la voyelle post-focales suivantes. Cette différence plus marquée renforce localement l'articulation plus ouverte de la voyelle accentuée.

D'autre part, plus globalement toute la portion de l'énoncé suivant le focus peut être produite avec une position plus haute de la mandibule, cet effet étant graduellement décroissant du focus à la fin de l'énoncé.

L'accent opèrerait donc non seulement un contraste syntagmatique local, mais aussi un contraste plus global permettant la mise en relief de la voyelle accentuée au niveau de l'énoncé, reposant sur une réduction de l'amplitude du cycle d'ouverture-fermeture de la mâchoire. Cette stratégie n'est cependant pas constante chez les deux locuteurs observés, l'un l'utilisant et l'autre ne réalisant qu'un contraste local renforcé.

Cet effet pourrait constituer le pendant supraglottique du phénomène intonatif d'écrasement mélodique suivant la réalisation d'un accent focal ou lors de la réalisation de parenthèse intonative basse, comme dans les énoncés à structure rhème – thème en français (Delattre 1966, Di Cristo 1998, Rossi 1999 ; mais cf. Delais-Roussarie et al. 2002).

Concernant ce point particulier, Harrington et al. (1998) étudient, sur la syllabe [wi:t], la possibilité, dans ce contexte de neutralisation des proéminences accentuelles post-focales, d'une compensation au niveau supraglottique opérant pour le maintien de la distinction accentuelle (stress) entre accent primaire et accent secondaire lexicaux.

Alors qu'un locuteur conserve cette distinction par une F<sub>0</sub> légèrement plus importante sous l'accent primaire, les deux autres locuteurs montrent des corrélats articulatoires compensatoires à l'absence de contraste mélodique post-focus. Malgré des différences inter-individuelles importantes, la syllabe sous l'accent primaire montre globalement une production légèrement plus marquée, rendant compte d'une articulation linguale, labiale et/ou mandibulaire plus périphérique et plus longue.

L'articulation linguopalatale (EPG) du /t/ est plus longue et plus fermée, comme son geste mandibulaire de fermeture qui est également plus rapide. L'ouverture labiale dans [wi:] est plus ample et/ou plus rapide, mais la langue n'apparaît pas plus avancée en accent primaire qu'en accent secondaire au regard de la hauteur du deuxième formant de [i:]. Par contre, l'ouverture mandibulaire est plus longue et/ou plus ample et rapide selon les locuteurs, cette caractéristique semblant pouvoir être rattachée à une intensité moyenne (RMS) plus importante de la voyelle pour les deux locuteurs.

Il semblerait donc que stratégie de renforcement des traits distincts des segments sous l'accentuation primaire et stratégie de contraste de sonorité globale renforcé ne soient pas strictement incompatibles pour le marquage supraglottique des proéminences accentuelles. Reste que dans ce contexte particulier les différences observées sont minimales au regard de celles pouvant apparaître en contexte prosodique non mélodiquement neutralisé.

Stone (1981) compare l'incidence de trois niveaux accentuels en anglais sur les mouvement d'ouverture de la mâchoire inférieure<sup>13</sup> : inaccentué (non accentué à voyelle non réduite) < accent lexical < accentué nucléaire. Les résultats montrent que si l'amplitude ne permet pas une distinction constante des niveaux de proéminence, par contre, la vélocité croissante de l'ouverture mandibulaire selon ces trois niveaux apparaît comme un indice de la hiérarchie de proéminence moins variable en fonction des locuteurs, du débit et du contexte phonotactique.

Comme, entre autres, les travaux de Giot (1977) sur la voyelle /a/ en français, Rietvelt & van Lieshout (1995) sur les voyelles /i, a/ en néerlandais, Fletcher et al. (1994) sur les voyelles /a: , ʌ/ en

---

<sup>13</sup> Non plus, nous ne précisons « inférieure » pour la mâchoire, puisque la mâchoire supérieure n'est pas mobile, la cause étant entendue.

anglais ou Harrington et al. (1995) sur la voyelle /a:/ le montrent, il apparaît, au moins pour certaines voyelles, particulièrement les voyelles ouvertes ou basses, que la mâchoire exécute un mouvement d'ouverture plus ample et plus long, voir aussi plus rapide, en syllabe accentuée qu'en inaccentuée.

### 1.2.2. Une expansion de la sonorité sous l'accent

La proposition de *Sonority Expansion* de Beckman (Edwards & Beckman 1988, Beckman & Edwards 1992, Beckman et al. 1992) est cependant plus générale et ne veut pas se limiter à la prise en compte que du cycle mandibulaire. La *Jaw Expansion* n'est qu'un aspect de l'hypothèse d'une sonorité plus contrastée en syllabe accentuée, même si elle en constitue en fait le principal support.

Pour ces auteurs, l'élargissement conditionné par l'accent afin de produire une énergie acoustique plus importante concerne le conduit vocal supraglottique dans sa globalité, c'est-à-dire les mouvements d'ouverture des lèvres, de la langue et de la mandibule.

L'accroissement de la sonorité dû à l'accent n'est pas seulement réalisé par une ouverture du conduit vocal plus grande, mais aussi, ou seulement, par le fait de maintenir sur une plus longue période une ouverture importante, par allongement, ou bien par réduction du chevauchement articuloire des gestes consonantiques de fermeture du conduit vocal. La dimension temporelle est donc particulièrement importante, notamment s'agissant de l'intégration perceptive de la sonorité ; la sensation d'intensité sonore des voyelles étant fonction de la durée du signal (Nishinuma et al. 1983).

Beckman n'utilise la mâchoire que comme une mesure indirecte de la sonorité de la voyelle et comme un indice articuloire de la dimension phonétique sonore sous-jacente contrôlant les patrons spatio-temporels des gestes articuloires supraglottiques produisant les prééminences accentuelles : « *Jaw heighth in our experiments is then an articulatory measure of this 'overall openness'. And the time course of jaw opening and closing is an approximate representation of the rise and fall of sonority, or the syllable's 'sonority profile' » (Edwards & Beckman 1988 : 161).*

La radiation de l'énergie acoustique renforcée à la sortie du conduit vocal en position accentuée, par une portion plus longue et/ou plus ample d'ouverture maximale du tractus vocal, permet deux types de contraste syntagmatique au sein de l'énoncé : intra-syllabique et inter-syllabique. En premier lieu, il permet la mise en valeur du noyau syllabique, et donc de la tête de la syllabe face aux consonnes, en maximisant le contraste CV au sein ou aux marges de la syllabe accentuée. De plus, cette augmentation de la sonorité participe activement à la mise en relief des syllabes occupant une position forte (tête de pieds métrique et de constituant supérieur) dans la structure prosodique de l'énoncé, par un contraste plus prononcé avec les syllabes non accentuées.

La conception de Beckman de la *Sonorité Expansion* comme processus général de l'articulation supraglottique des marques prosodiques structurelles de l'énoncé est principalement développée dans Beckman et al. (1992).

Les auteurs argumentent sur la nécessité d'un niveau de représentation phonétique abstrait capable de rendre compte des réalisations physiques (articuloires et indirectement acoustiques) des événements rythmiques et prosodiques. Celui-ci constituerait une représentation phonétique intermédiaire permettant d'établir les correspondances entre la structure prosodique et les réalisations articuloires dynamiques en terme de gestes spatio-temporels coordonnés.

Ce niveau intermédiaire proposerait une spécification spatiale et temporelle en terme de profil de sonorité sous-jacent devant être réalisé dans et entre les syllabes apparaissant aux points clefs de la structure prosodique de l'énoncé, ou selon des impératifs para-linguistiques comme l'accélération du débit de parole par exemple : « *A more promising approach is to try to describe the quantitative properties of the lengthenings associated with nuclear accent, phrase-final position, and overall tempo decrease in terms of some abstract phonetic representation that can mediate between the prosodic hierarchy and the gestural dynamics. We propose that the relevant level of description involves the time course of a substantive feature 'sonority' » (p. 83).*

Ce niveau de représentation spécifierait une valeur catégorielle de sonorité dans un espace spatio-temporel de variation reflétant les contraintes exercées par la structure prosodique et les demandes para-linguistiques. Cet espace relèverait pour sa dimension spatiale de l'amplitude d'ouverture du conduit vocal et pour sa dimension horizontale de l'évolution temporelle de celle-ci. Les réalisations

spatio-temporelles des gestes articulatoires pourraient donc être différenciellement représentées en fonction des contextes prosodiques où ils doivent être produits.

Ce niveau de représentation n'est pas envisagé comme une étape dans une procédure de dérivation phonologique entre niveaux de représentation prosodique et segmental, mais plutôt comme un moyen de décrire et prédire la correspondance entre les événements segmentaux (articulatoires et acoustiques) et les unités structurales prosodiques : « *In proposing that these structures in a sonority-time space mediate between the prosodic hierarchy and gestural dynamics, we do not mean to imply that they represent a stage of processing in a hypothetical derivational sequence. Rather, we understand these structures as a picture of the rhythmic framework for interpreting the dynamics of the segmental gestures associated to a prosodic unit* » (p. 86).

### 1.2.3. Effet de frontière et effet de proéminence

Même si le point de vue de ces auteurs sur l'importance du trait de sonorité, en tant que spécificateur essentiel des configurations articulatoires marquant la structure prosodique, semble avoir évolué avec l'approfondissement de leurs recherches, la première partie de leurs études (Edwards & Beckman 1988, Beckman & Edwards 1992, Beckman et al. 1992) sur les mouvements mandibulaires, et plus accessoirement labiaux (Edwards et al. 1991), dans les séquences /pɑp/ et /pə/ en anglais, cherche à valider cette hypothèse. Ces auteurs empruntent le cadre théorique de la Dynamique de Tâches (Saltzman & Munhall 1989, ou Hawkins 1992, pour une présentation « vulgarisée ») pour rendre compte de patrons articulatoires dynamiques différentiels en fonction des entités prosodiques produites.

Beckman analyse sur les patrons articulatoires dans /pɑp/ les effets d'allongement de la frontière de constituant intonatif (allongement final d'*intonational phrase*)<sup>14</sup> et des proéminences accentuelles : accent nucléaire<sup>15</sup>, accent focal contrastif<sup>16</sup> et accent lexical (*stress* : /pɑp/ versus *no stress* : /pə/)<sup>17</sup>. Elle montre que des mécanismes dynamiques articulatoires différents permettent de réaliser un allongement en fin de constituant intonatif et sous l'accent. Elle distingue ainsi l'effet de frontière (« *edge effect* »), relatif à l'allongement final, de l'effet de proéminence (« *prominence effect* »), relatif à l'allongement corrélatif à l'accent (nucléaire, contrastif et lexical).

#### 1.2.3.a. L'allongement final

L'allongement final est articulatoirement réalisé par des mouvements mandibulaires très longs, pas nécessairement plus amples, mais surtout bien moins rapides. Cet allongement est produit par une tension (ou raideur : « *stiffness* ») réduite des mouvements en finale de constituant, la tension exprimant les relations entre la vélocité et l'amplitude des mouvements : pour une durée constante, plus un mouvement est ample, plus sa vélocité est grande, et donc sa tension importante.

Ainsi, l'allongement final reposerait sur une diminution de la tension des gestes, caractéristique d'un ralentissement de l'articulation en syllabe finale de constituant. Ce motif articulatoire serait identique à celui produit lors d'une réduction du tempo en débit ralenti.

Si une augmentation de la sonorité est effectivement produite lors de l'allongement final, par une durée plus longue d'ouverture large du conduit vocal, l'allongement final n'est pas interprété par Beckman comme un impératif de contraste sonore, mais comme une commande spécifique d'allongement important de la syllabe en final de constituant intonatif majeur : « *final lengthening makes a syllable primarily slower rather than bigger. That is, phrase-final syllables are longer not because their closing gestures are phased later, but rather because they are less stiff. In terms of the underlying dynamics, then, we might describe final lengthening as an actual targeted slowing down, localized to the last gesture at the edge of a phrase.* » (Beckman et al. 1992 : 79).

Beckman montre cependant que la diminution de la tension articulatoire des mouvements n'est pas suffisante pour rendre compte complètement du phénomène. Une limite inférieure de tension

<sup>14</sup> Cf. Edwards & Beckman (1988, 1992), Edwards et al. (1991), Beckman et al. (1992).

<sup>15</sup> Cf. Edwards & Beckman (1988, 1992), Edwards et al. (1991), Beckman et al. (1992).

<sup>16</sup> Cf. Beckman & Edwards (1992, 1994), Beckman & Cohen (1999).

<sup>17</sup> Cf. Beckman & Edwards (1992, 1994), Beckman & Cohen (1999).

articulatoire peut être atteinte dans certaines conditions extrêmes, comme en parole lente. Dans ce contexte, pour garantir un contraste de débit de parole et d'allongement des syllabes finales de constituant, l'allongement peut être effectué par un phasage plus tardif du mouvement de fermeture mandibulaire exécuté pour la consonne par rapport à l'ouverture de la voyelle précédente.

### **1.2.3.b. L'accent nucléaire et l'accent lexical**

L'impératif phonétique de la réalisation d'une sonorité acoustique plus importante est plutôt caractéristique de l'accent nucléaire ou focal contrastif. Même si les données et les interprétations faites peuvent légèrement différer entre les versions exposées pendant les onze années de leur recherche, en dernière analyse Beckman et ses collègues montrent que l'allongement de l'articulation mandibulaire pour les préminences accentuelles, tant nucléaire, contrastive que lexicale, répondent à un même mécanisme gestuel dynamique sous-jacent.

Sous un accent nucléaire, la voyelle montre un cycle d'ouverture et de fermeture mandibulaire, ou labial, d'une durée, d'une amplitude et d'une vitesse de déplacement plus importantes qu'en syllabe inaccentuée. Cependant, cet allongement en position accentuée ne semble pas pouvoir être correctement prédit par la corrélation entre vitesse et déplacement maximal des mouvements. En effet, même si la vitesse des gestes est plus importante qu'en syllabe inaccentuée, celle-ci est comparativement plus faible sous l'accent au regard déplacement exécuté.

Dans le modèle de la Dynamique de Tâches, deux manœuvres gestuelles dynamiques peuvent expliquer un allongement produit par une vitesse proportionnellement plus faible par rapport au déplacement effectué par le mouvement articulatoire.

La première relève d'une spécification intra-gestuelle relative à une réduction de la tension des mouvements. Dans ce modèle, les mouvements de constriction ou d'ouverture sont déterminés intrinsèquement par une trajectoire spatio-temporelle asymptotique. Ainsi, l'écart temporel entre le point d'arrivée et celui de départ d'un mouvement articulatoire augmente plus rapidement que l'écart spatial (vertical), plus le déplacement vertical effectué est important. En d'autres mots, plus les mouvements sont amples, plus ils nécessitent de temps pour effectuer un déplacement encore plus important. Cela se traduit, dans ce cas, par une réduction critique de la tension du geste articulatoire.

Le second mécanisme envisagé renvoie à une spécification inter-gestuelle relative à la relation de phase du mouvement de fermeture de la consonne par rapport à celui d'ouverture de la voyelle précédente. Il impliquerait que le geste consonantique serait retardé par rapport à celui d'ouverture vocalique. Du fait de la trajectoire asymptotique des mouvements, l'ouverture aurait alors plus de temps pour atteindre une position plus extrême, réduisant ainsi sa vitesse.

Ce mécanisme renversé correspond à une troncation du geste d'ouverture vocalique par celui de fermeture de la consonne subséquente en contexte inaccentué. Les analyses de Beckman (surtout, Beckman & Cohen 1999), confirmant les résultats de Harrington et al. (1995), montrent que le patron articulatoire dynamique des syllabes inaccentuées répond mieux à un mécanisme de troncation qu'à une augmentation de la tension des gestes. L'allongement corrélatif à l'accentuation semble donc reposer principalement sur un phasage retardé du geste de fermeture par rapport au geste d'ouverture mandibulaire.

Au niveau de la distinction entre les voyelles pleines porteuses de l'accent lexical et les voyelles réduites inaccentuées et *unstressed*, le mécanisme général serait identique. Ce patron articulatoire dynamique pourrait donc être identifié à un marquage supraglottique des têtes de constituant prosodique (de syllabe et de pieds métrique pour l'accent lexical, et d'*intermediate* ou d'*intonational phrases* pour l'accent nucléaire) : un « *head effect* », selon les termes de Beckman & Edwards (1992).

Reste que les différences avec les positions faibles (inaccentuée et *unstressed*), en termes d'amplitude, de vitesse et de durée, sont beaucoup plus importantes et constantes, à travers les locuteurs et les différents débits, pour le marquage de l'accent lexical, du fait de la qualité intrinsèque de la voyelle inaccentuée /ə/, qu'elles ne le sont pour le contraste accentuel nucléaire (Beckman & Edwards 1994, Beckman & Cohen 1999).

Selon l'hypothèse de la *Sonority Expansion*, le contraste effectué par l'accent nucléaire serait sous-



tendu par une nécessité d'augmenter significativement l'énergie acoustique globale de la syllabe accentuée, sinon par une ouverture maximale du conduit vocal plus ample, au moins par une ouverture large sur une section plus longue de la voyelle : « *The lengthening associated with accented sequence, on the other hand, is a head effect. [...] That is, the purpose of the lengthening seems to be not to make the sequence longer per se, but rather to expand the portion of the syllable where maximum energy is radiating out of the mouth.* » (Beckman & Edwards 1992 : 369).

Cette manœuvre articuloire permettrait notamment de garantir l'intégration temporelle perceptive de l'intensité acoustique réalisée

Ainsi, l'accent nucléaire impliquerait une augmentation de la sonorité syllabique dans les deux dimensions, principalement temporelle voire spatiale, tandis que l'allongement final serait spécifié par une augmentation de la seule dimension temporelle ayant pour effet principal d'éloigner les limites de la syllabe de son centre de sonorité.

Cette dernière stratégie peut cependant également être interprétée comme un moyen de dégager plus nettement le noyau maximalement sonore de son environnement.

#### 1.2.4. Les limites de l'hypothèse d'expansion de la sonorité

Seules les proéminences accentuelles du niveau le plus haut de la hiérarchie prosodique (accent nucléaire et accent contrastif) pourraient donc véritablement répondre à une contrainte acoustique spécifique de renforcement du contraste de sonorité par des manœuvres articuloires dans l'espace et dans le temps.

A un niveau inférieur, le contraste effectué par l'accent lexical relèverait clairement d'une nécessité de renforcement de la qualité acoustique inhérente de la voyelle, en augmentant le contraste entre voyelle pleine, tête de pied métrique, et voyelle réduite, ne pouvant en être l'élément constitutif.

L'articulation supraglottique des tons de frontière serait conditionnée par un objectif d'allongement final, particulièrement important pour la démarcation des constituants prosodiques majeurs de l'énoncé (équivalent à une « *pause subjective* » selon les termes de Rossi, 1999).

Il semble aussi que Beckman et ses collègues, surtout dans la seconde partie de leurs travaux (Beckman & Edwards 1994 et Beckman & Cohen 1999), prennent une certaine distance par rapport à l'hypothèse d'une spécification sonore du contraste opéré par l'accent nucléaire.

Cela est déjà perceptible dans Beckman & Edwards (1992), où le patron articuloire dynamique caractéristique de l'accentuation nucléaire est présenté comme pouvant relever d'une nécessité rythmique permettant d'asseoir temporellement le contour mélodique : « *the longer duration of the nuclear-accented syllables must be there [...] perhaps to increase the interval of maximum energy radiation from the oral cavity, or perhaps simply to make room for realizing the associated pitch shapes in the intonation contour.* » (p. 374).

Si un contraste sonore est effectivement réalisé sous l'accent, comme un certain nombre d'études l'attestent (Harrington et al. 2000, Farnetani 1997, entre autres), reste que d'autres travaux dans ce domaine ne confirment pas que l'expansion de la sonorité soit le paramètre fondamental pouvant rendre compte des corrélats articuloires du marquage prosodique.

Les points faibles de cette proposition tiennent aux aspects suivants.

Tout d'abord, seules les voyelles ouvertes font véritablement l'objet de ces études, et l'analyse des autres voyelles montrent que la contrainte de sonorité n'est pas toujours opératoire.

Egalement, l'articulation supraglottique est réduite au seul articulateur mandibulaire, voire labial, les dimensions linguale et vélaire n'étant jamais considérées.

Seul le plan vertical médio-sagittal est exploré dans cette hypothèse, laissant de côté les dimensions avant-arrière et coronale.

Enfin, selon même la conception inchangée de Beckman et de ses collègues, depuis l'article de 1991 jusqu'à celui de 1999, la distinction opérée par l'accent lexical en anglais répond plus clairement à une stratégie de renforcement des traits distinctifs inhérents de la voyelle pleine accentuée (qualité acoustique et durée), par une articulation plus périphérique et plus longue, que strictement à une mise

en relief de son énergie acoustique.

Cette dernière stratégie relève donc plus clairement d'un renforcement articulatoire du contraste phonologique paradigmatique des segments, c'est-à-dire de leurs traits acoustiques distinctifs par une hyperarticulation localisée sur les syllabes accentuées.

### 1.3. Une hyperarticulation locale

L'hypothèse d'une hyperarticulation localisée sous l'accent découle d'un modèle plus général de production de la parole : l'*Hyper- & Hypoarticulation model*.

#### 1.3.1. Le modèle H&H de Lindblom

Le modèle H&H de Lindblom (1990) propose que la parole est produite dans un continuum de variations phonétiques allant d'une « sous-articulation » (hypoarticulation) à une « sur-articulation » (hyperarticulation).

Le locuteur est capable, dans une certaine limite, de contrôler à court-terme ses variations phoniques entre ces deux pôles qui répondent à deux types de contrainte agissant sur la production articulatoire et acoustique de la parole : des contraintes orientées-système, c'est-à-dire internes au processus moteur de production articulatoire, et des contraintes orientées-sortie, c'est-à-dire externes à ce processus et relevant des impératifs perceptifs de la parole. La substance phonique est fonction du poids exercé par ces deux commandements.

D'un côté, les « lois » du système articulatoire tendent par défaut à une économie motrice, interprétable comme un principe de moindre coût énergétique (Lindblom 1983) : « *Speech movements are strikingly effortless and highly automatized so are others movements.* » (p. 233).

De l'autre côté, les impératifs perceptifs et les objectifs communicationnels impliquent dans certaines conditions ou situations (relatives au bruit ambiant, à la formalité sociale, à l'attention de l'interlocuteur, à l'urgence, etc.) une audibilité et une intelligibilité accrues de la parole : « *We are of course occasionally perfectly capable of hyperarticulation (and hypoarticulating), that is, of adjusting the loudness, tempo, clarity, etc. of our speech to the needs of the situation, thereby exploiting more the full range of phonetic possibilities.* » (Lindblom 1983 : 219).

L'hypoarticulation est donc motivée par une économie énergétique et une facilité de production de la parole, donnant lieu à une performance minimale (« *Unconstrained, a motor system tends to default to a low-cost form of behavior* », Lindblom 1990 : 413) ; tandis que l'hyperarticulation est motivée par une préservation ou un renforcement dans le signal de parole des propriétés discriminatives nécessaires et suffisantes pour faciliter et diriger la perception de la parole et la compréhension du message, notamment en aidant à la reconnaissance et à l'accès lexical.

Dans les situations non extérieurement contraintes, le poids du système moteur s'impose et réalise des formes phoniques moins contrastives (*undershoot*), alors que quand les demandes communicatives sont plus pressantes, le poids d'une « *sufficient discriminability* » poussent à une parole plus clairement contrastée, et donc à une différenciation phonémique plus prononcée par une articulation plus périphérique ou extrême (*overshoot*) : « *We concluded that within limits speakers appear to have a choice whether to undershoot or to not undershoot. [...] The simplification that H&H imposes is that phonetic variation is basically one-dimensional: When output constraints dominate, we expect to see hyperforms, whereas with system constraints dominating, hypospeech will be observed.* » (Lindblom 1990 : 417-418).

L'hypoarticulation donne lieu à des formes phonétiques réduites et largement coarticulées, alors que l'hyperarticulation produit des segments phoniques plus marqués, contrastifs et plus isolés, c'est-à-dire moins coarticulés.

Comme un retour au source (Lindblom 1963), ce modèle général de production de la parole ne permet pas seulement de rendre compte de l'influence globale du style de parole, par exemple, mais également de variations phonétiques et articulatoires plus locales, comme celles liées au contraste prosodique dans l'énoncé, et notamment celui effectué par l'accent.

### 1.3.2. La proposition de de Jong

A partir de ce modèle général, de Jong et al. (1993) proposent que la syllabe accentuée soit le site d'une hyperarticulation locale où les propriétés phonétiques distinctives des phonèmes sont maximisées et la coarticulation réduite en son sein ou à ses marges.

Les auteurs partent du constat que le modèle de *Sonority Expansion* peut être considéré comme une variante, limitée à l'articulation des voyelles ouvertes ou basses, d'un processus plus général d'hyperarticulation sous l'accent.

Les analyses de Jong et al. (1993) et de Jong (1995), sur les autres types de voyelles (fermées notamment) et des consonnes pour les articulateurs lingual, labial et mandibulaire, confirment l'existence d'un renforcement des traits distinctifs des segments en position accentuée (accent contrastif et pré-nucléaire, c'est-à-dire un *pitch accent* secondaire interne à l'*intonational phrase*), par une articulation plus périphérique qu'en syllabe inaccentuée (pré- ou post-focale).

Les résultats de l'analyse de 1993 montrent que si la voyelle fermée postérieure /ʊ/ est produite par un abaissement général de la langue, elle est surtout réalisée par celui de la partie antérieure et par une rétraction plus importante de la langue sous l'accent, permettant d'agrandir la cavité buccale et de réduire la pharyngale, renforçant de ce fait sa qualité grave et postérieure. De plus, /ʊ/ accentuée s'accompagne d'une protusion labiale plus extrême renforçant ses caractères arrondi et grave.

Cette étude montre également que la coarticulation entre /t/ et /ð/ dans la séquence « put the » est plus réduite, en termes de fusion des gestes linguaux alvéolaire de /t/ et dental de /ð/, quand « put » est accentué. Les deux lieux d'articulation sont mieux séparés, l'augmentation de la durée pour la séquence portant l'accent nucléaire indiquant que cette réduction de la coarticulation est effectuée par un chevauchement temporel moins important des deux gestes apicaux.

Outre ces résultats, l'étude de de Jong (1995) montre qu'une partie des variations articulatoires observées, relatives aux voyelles /ʊ, o/ et aux consonnes /p, t, n/, peuvent être parallèlement compatibles avec une augmentation du contraste de sonorité des segments dans la syllabe. Elles concernent principalement les points suivants :

- (1) la mâchoire est plus basse pour les voyelles et plus haute pour les consonnes ;
- (2) /p/ montre une occlusion labiale plus importante ;
- (3) la position de la mâchoire explique en partie une occlusion linguale ou labiale plus étroite des consonnes.

Reste qu'un certain nombre d'autres caractéristiques articulatoires des segments en position accentuée ne peuvent être expliquées qu'en fonction d'un renforcement de leurs propriétés distinctives. Elles concernent les faits suivants :

- (1) /ʊ/ est plus rétracté et arrondi (cf. de Jong et al. 1993) ;
- (2) /n/ montre un abaissement du dos de la langue et un avancement de son occlusion alvéolaire par une position plus antérieure du corps et dos de la langue ;
- (3) /t/ est réalisé par une position plus haute de la langue et une configuration linguale générale moins concave, traduisant une réduction de l'influence de la voyelle /ʊ/ précédente sur la partie postérieure de la langue.

### 1.3.3. Une articulation plus distinctive sous l'accent

D'autres études articulatoires, relatives à l'influence de l'accent appuient cette proposition. Nous n'en donnons ici qu'une sélection dont nous avons résumé, dans le tableau I.2.1, les résultats principaux et interprétables selon une hyperarticulation induite par l'accent. La plupart de ces études montrent cependant des variations inter-individuelles parfois importantes. Nous ne présentons que les résultats les plus clairs et qui ne répondent pas à des stratégies inverses des locuteurs observés (comme cela est, par exemple, le cas dans Keating 1995b).

Globalement, ces travaux montrent, que ce soit pour les voyelles ou les consonnes, que selon les termes de Kent & Netsell (1971) : « *For those situations in which articulators exhibited stress-dependent positions, the effect of increase stress was to change the articulation in the direction of the presumed target.* » (p. 41). En effet,

nombre de variations présentées ici (tableau I.2.1) ne peuvent s'interpréter seulement comme étant dues à une articulation plus périphérique et plus distinctive.

A l'inverse de l'expansion de la sonorité, l'hyperarticulation permet de rendre compte d'un renforcement des variations articulatoires sous l'accent à la fois dans le plan vertical (ouverture-fermeture) et dans le plan horizontal (avant-arrière).

Outre les faits de coarticulation, les mouvements articulatoires avant-arrière marquent un renforcement du trait arrondi (protusion des lèvres pour /*ʊ*, *u*, *w*/), du trait antérieur (avancement de la langue pour /*i*, *ε*, *t*, *n*/) ou postérieur (rétraction pour /*u*, *ʊ*/).

En dehors des points déjà exposés ci-dessus (relatifs à l'ouverture mandibulaire ou l'abaissement lingual pour les voyelles ouvertes ou basses et à la fermeture plus étroite des consonnes augmentant le contraste CV) et pour lesquels la notion d'hyperarticulation est redondante, certains mouvements articulatoires verticaux sont clairement interprétables comme une distinctivité phonémique accrue sous l'accent.

Par exemple, les traits de fermeture et de hauteur vocalique sont renforcés par une ouverture linguale et labiale moins importantes pour /*i*/ ; pour /*u*/, une fermeture labiale plus étroite traduit un arrondissement plus marqué ; de même, une position du voile plus basse pour les consonnes nasales et plus haute pour les orales renforcent respectivement leur propriété distinctive selon le trait de nasalité.

#### 1.3.4. Les limites de l'hypothèse d'hyperarticulation

Cependant, si le potentiel explicatif de la notion d'hyperarticulation, s'agissant des phénomènes de co-variations sous l'accent, est important, il n'en est pas la panacée, dans le sens où cette notion ne peut rendre compte de tous les phénomènes observés. L'hyperarticulation ne constituerait qu'une des dimensions d'expression supraglottique des corrélats de l'accentuation.

Ainsi, comme l'écrit de Jong (1995) : « *Although the hyperarticulation model performs better than the two other models examined here [Jaw Expansion et Sonority Expansion] because it predicts more stress effects than the other accounts, this is not to say that hyperarticulation account predicts any sort of variation at all, and is thus unfalsifiable. Stress should never act to decrease activity associated with production of a contrast. The effects of stress shown in the present study all are increases in motions associated with the production of stressed contrasts. The only complications to this pattern involve the motions which control the size of the opening of the vocal tract. These complications suggest that contrasts should not just be expressed in terms of constriction at places within the vocal tract, but additionally in terms of the opening and closing of the oral orifice.* » (p. 502).

Ce point soulevé par de Jong concerne, entre autres, les propriétés dynamiques spatio-temporelles des gestes articulatoires et leur coordination, la seule dimension spatiale permettant de ne capturer qu'une partie des faits supraglottiques liés à l'accentuation.

D'autre part, l'accent est une proéminence qui permet la mise en relief syntagmatique des unités structurelles et sémantiques de l'énoncé. L'hyperarticulation localisée sous l'accent ne permet pas seulement un contraste paradigmatique, reposant sur la distinctivité phonémique entre les segments pouvant occuper une même place syntagmatique ou entre les unités du lexique, mais elle participe également au contraste syntagmatique en renforçant les propriétés inhérentes des éléments constitutifs des proéminences (les têtes) au sein de la syllabe mais aussi de l'énoncé : « *Placing a nuclear pitch accent has two different functions. It acts as part of the prosodic structure to mark the head of a prosodic domain, and it highlights the word containing the accented syllable, to make it salient within the discourse. The enhanced phonemic distinctiveness thus helps the listener to interpret the syllable as a head of its intonational phrase. But it also should help the listener recognize an important word.* » (de Jong et al. 1993 : 210).

Dans cette mise en valeur syntagmatique des unités proéminentes de l'énoncé, on peut donc penser que les stratégies de contraste de sonorité et de distinctivité sont toutes deux opératoires. Or, si dans le cas des voyelles ouvertes, les manœuvres articulatoires opérées sous l'accent ne sont pas incompatibles avec ces deux stratégies contrastives, dans un certain nombre d'autres, comme celui des voyelles fermées, elles paraissent conflictuelles, ne pouvant à la fois augmenter supraglottiquement l'énergie

**Tableau I.2.1** – Résumé des corrélats de l'accent montrant un renforcement articulatoire des propriétés distinctives des segments. *De gauche à droite : la référence de l'étude ; le(s) type(s) d'accent étudié(s) (« lex » = accent lexical, « nuc » = accent nucléaire, « accC » = accent contrastif, accF = accent final, accP = accent final de phrase et ac.ini = accent initial) ; la langue (« Fr » = français, « Ang » = anglais, « It » = italien, « Sd » = suédois) ; les effets relatifs aux voyelles ; ceux concernant les consonnes ; ceux portant sur la coarticulation ; et enfin, des remarques faites par les auteurs ou par nous. « + » indique un mouvement ou une position plus extrême et « - » l'inverse ; « LG » = la langue, « LV » = les lèvres, « VL » = le voile du palais et « MB » = la mandibule ; « CLP » = le contact linguopalatal (EPG)*

référence	lang.	accent	voyelle	consonne	coarticulation	commentaires
Brichler-Labaeye (1970)	Fr	nucP	/a/ : LG + basse		/ta'ta/ : apex + abaissé dans le second /a/	
Kent & Netsell (1971)	Ang	lex accC	/ʊ, o/ : LV + protusion /i/ : LG + avant + haute	/w/ : LV + protusion		
Giot (1977)	Fr	accP	/a/ : LG + basse - avant /i, ε / : LG + avant LV + fermé	MB + haute occlusion LV ou LG + large	antagonisme CV + marqué	corrélats de /a/ : une articulation plus distinctive face à /ε/
Vaggès et al. (1984)	Ita	lex		/t/ : CPL avant + large		
Engstrand (1988)	Sd	lex	/i, a, u/ : LG + haute dans la zone postérieure pharyngale		/p/ en contexte /i_l_i, a_a, u_u/ : geste LG vocalique + relâché pendant /p/	/i, a, u/ sont des voyelles tendues (en suédois) : le fait qu'elles montrent une position plus haute de la langue sous l'accent est interprétable comme un renforcement de leur qualité tendue
Vaissière (1988)	Ang	lex		orale : VL + haut nasale : VL + bas		voir Krakow (1989, 1993)
Krakow (1989, 1993)	Ang	lex	/a/ : VL + bas /i/ : VL + haut	orale : VL + haut nasale : ouverture VL + longue		tout contexte, les voyelles ouvertes se caractérisent pas une position du voile plus basse que les fermées ; l'accent renforcerait donc ce contraste vocalique intrinsèque bien qu'il ne soit pas un trait distinctif. Cependant, Vaissière (1988) considère que le trait [± nas] n'est pas spécifié pour les voyelles orales de l'anglais ; de plus le voile est plus bas pour les deux types de voyelle pour un seul des deux locuteurs étudiés, ce qui confirme plutôt le point de vue de Vaissière.

**Tableau I.2.1 – Suite**

référence	lang.	accent	voyelle	consonne	coarticulation	commentaires
Fletcher et al. (1994)	Ang	accC	/a:/ : + grand contraste d'ouverture MB avec /ʌ/			<i>l'opposition par le trait distinctif de quantité entre les voyelles longues par rapport aux brèves est renforcée par une ouverture mandibulaire plus ample et longue</i>
Harrington et al. (1995)	Ang	accC			/a:/ est moins réduit par une troncation moins importante	<i>cf. notamment Beckman &amp; Cohen (1999)</i>
Farnetani & Vayra (1996) Farnetani (1997)	Ita	lex	/a/ : CLP + latéral /i, u/ : CPL + large - latéral	/t/ : CLP avant + large		<i>le fait que toutes les voyelles /a, i, u/ montrent plus de contacts EPG postérieurs est interprété comme une plus grande ouverture mandibulaire (cf. Farnetani &amp; Faber 1992)</i>
Harrington et al. (1998)	Ang	lex		/t/ : MB fermeture + ample + longue CPL + large + long		
Loevenbruck (1999, 2000)	Fr	ac.ini accF accC	/a/ : LG + basse /i/ : LG + haute			<i>la différence avec le contexte inaccentué est plus marquée, plus la proéminence est importante : accC &gt; accF &gt; ac.ini</i>
Harrington et al. (2000) Fletcher et al. (1996)	Ang	nuc	/i:/ : LG + haute ou + avant			

acoustique par une ouverture plus grande du conduit vocal, et en même temps produire une articulation plus distinctive selon les traits d'aperture et de hauteur vocalique en réduisant la cavité buccale.

L'étude de Harrington et al. (2000), reprise de Fletcher et al. (1996), montre que ce double contraste est possible, si l'on tient compte de la dimension spatio-temporelle des gestes articulatoires. Les auteurs analysent les mouvements de la mâchoire et du dos de la langue pour l'articulation des voyelles /a:, æ, i:/ sous l'accent nucléaire en anglais australien.

Les résultats montrent que les voyelles ouvertes, comme la voyelle fermée, ont une ouverture mandibulaire plus extrême pour les deux locutrices étudiées. Au niveau acoustique, cette plus grande ouverture se traduit par une énergie (RMS) plus importante de la voyelle.

Or, au niveau de l'articulation linguale, les deux locutrices montrent des comportements différents, mais tous deux semblant permettre une conciliation des stratégies de renforcement du contraste de sonorité et du contraste de distinctivité phonémique sous l'accent. L'une produit /i:/ avec une position de la langue plus antérieure, alors que l'autre la réalise avec une articulation linguale plus fermée, et donc un mouvement antagoniste à celui de la mâchoire.

Dans le premier cas, les deux stratégies d'expansion de sonorité et d'hyperarticulation du noyau vocalique sont réalisées simultanément et sont tout à fait compatibles, favorisant une impédance acoustique réduite par l'abaissement plus important de la mâchoire et de la langue et renforçant les caractéristiques formantiques de la voyelle fermée par une position plus antérieure de la langue.

Dans le second cas, la locutrice montre un comportement hétérogène et apparemment incompatible avec les deux stratégies de contraste. En effet, la position plus haute de la langue en syllabe accentuée devrait atténuer l'augmentation d'énergie acoustique permise par une ouverture plus large de la mâchoire. Or, le contraste de sonorité accrue en position accentuée est conservé pour /i:/.

Ce résultat contre-intuitif peut être expliqué par le fait qu'en anglais australien la différence de contraste phonétique entre /i:/ accentué et /i/ inaccentué est marquée non seulement par le caractère tendu, mais également par le fait que /i:/ (accentué) est réalisé par une diphtongaison off-glide. Les deux manœuvres articulatoires antagonistes de la mâchoire et de la langue ne sont en fait pas réalisées simultanément, mais successivement. C'est seulement après que le maximum d'ouverture mandibulaire est atteint, que la constriction linguale maximale est produite, préservant ainsi l'augmentation d'intensité moyenne de la voyelle et le renforcement des propriétés fermée et haute de la voyelle /i:/ en syllabe accentuée.

Le timing particulier entre mouvement d'ouverture mandibulaire et mouvement de fermeture linguale permet ainsi d'assurer à la fois un contraste important de sonorité et une hyperarticulation du noyau syllabique accentué. Le pattern articulatoire off-glide participe ainsi à signaler que la voyelle est accentuée, et pas seulement qu'elle est plus longue ou plus tendue par rapport à sa réalisation inaccentuée.

Cette étude de Harrington et al. (2000) montre que la prise en compte de la dynamique spatio-temporelle des gestes articulatoires est un aspect primordial pour la description et l'explication des processus supraglottiques de marquage de l'accent.

#### **1.4. L'importance de la dynamique intra-gestuelle et du timing inter-gestuel**

Les études de Kelso et al. (1985) et de Vatikiotis-Bateson & Kelso (1993) sur anglais (et aussi le français pour la seconde) montrent que, concernant l'articulation du complexe mâchoire-lèvre inférieure, l'accent est produit par des gestes d'ouverture plus longs, amples et véloces par rapport aux syllabes inaccentuées<sup>18</sup>. Ces trois paramètres sont largement corrélés, notamment vélocité et amplitude, dans les deux contextes accentuels. De plus, les gestes articulatoires en syllabes inaccentués ont une tension articulatoire plus importante.

---

<sup>18</sup> Corpus de parole réitérée en /mamama/ et /papapa/ à partir de phrases modèles.

Les auteurs en déduisent que l'accent est réalisé supraglottiquement par une modification du paramètre dynamique intra-gestuel de tension articulaire : les gestes en syllabe accentuée sont plus longs, car plus amples, mais surtout moins tendus. Ce mécanisme articulaire est comparable à celui caractérisant un débit de parole plus lent. La relation de phase inter-gestuelle est, elle, relativement invariable entre les deux contextes accentuels. Les gestes articulaires montreraient donc des relations spatio-temporelles quasi stables et indépendantes de la structure prosodique.

Néanmoins, comme le font observer Beckman & Cohen (1999) à propos de l'étude de Kelso et al. (1985), en dehors d'un artefact dans l'analyse des corrélations entre durée, déplacement et vitesse, la nature différente, la réalisation prosodique et la qualité segmentale des voyelles ne sont pas contrôlées. Les résultats mélangent ainsi différents effets produits par différentes catégories prosodiques (effet de prééminence nucléaire et lexicale, et effet de frontière).

Concernant l'étude de Vatikiotis-Bateson & Kelso (1993), la même remarque est applicable. En effet, l'examen du corpus français permet de se rendre compte que la catégorie accentuée comprend des syllabes initiales et finales pouvant porter un accent rythmique ou une intonation continuative ou conclusive. De plus, un certain nombre de syllabes initiales de constituant, toutes classées comme accentuées, sont probablement produites sans accent. Aucune validation perceptive ou acoustique des réalisations prosodiques du corpus n'est effectuée.

#### 1.4.1. Un timing articulaire modifié sous l'accent

Les résultats de ces études sont, peut-être de ce fait, opposés à ceux obtenus par Nittrouer et al. (1988), Beckman & Edwards (1994), Harrington et al. (1995) et Beckman & Cohen (1999), s'agissant de la modification des relations de phase inter-gestuelles en contextes accentués.

Ces études montrent qu'en anglais le contraste entre la voyelle accentuée et la voyelle inaccentuée repose principalement sur un retardement de la fermeture de la consonne suivante par rapport à l'ouverture de la voyelle accentuée précédente. La modification des relations de phase inter-gestuelles entre V et C relève d'un mécanisme de troncation particulièrement important, et constant pour différents débits de parole et entre les locuteurs, opérant lors de l'articulation de la voyelle réduite non accentuée lexicalement suivie d'une consonne.

Ce phénomène de troncation en contexte inaccentué est spécifiquement étudié par Harrington et al. (1995) et Beckman & Cohen (1999).

Ces travaux montrent par modélisation que la réduction vocalique en contexte inaccentué, c'est-à-dire sans accent nucléaire (voyelle pleine) dans l'étude de Harrington et al., et inaccentué et *unstressed* (voyelle réduite) dans celle de Beckman & Cohen, répond à un processus de troncation et non de réduction spatio-temporelle proportionnelle de la durée et de l'amplitude des gestes mandibulaires (Harrington et al. 1995) ou à une modification des paramètres intra-gestuels de tension et de vitesse des gestes (Beckman & Cohen 1999).

Il ressortirait donc que l'articulation supraglottique de l'accent en anglais ne repose pas pour les voyelles sur une modification de la raideur intra-gestuelle des gestes articulaires, mais principalement sur une relation de phase inter-gestuelle retardée entre fermeture consonantique et ouverture vocalique, provoquant un allongement accompagné d'une amplitude d'ouverture plus importante, sans que la vitesse ne soit réellement modifiée.

On peut penser que ce mécanisme de troncation des voyelles inaccentuées n'est opératoire que pour l'enchaînement de gestes homo-organiques.

Dans le cas de gestes homo-organiques non antagonistes, l'articulateur étant le même, deux gestes contigus ne peuvent se chevaucher librement. Le mouvement de fermeture interfère de manière importante avec le geste d'ouverture, s'il est réalisé trop tôt. Ce comportement peut se traduire par une fusion des deux gestes (*blending*) en un seul, comme par exemple dans le cas de l'articulation de la séquence /tð/ en contexte inaccentué relatée par de Jong et al. (1993), ou dans le cas des consonnes géminées réalisées avec une occlusion, une tenue et un relâchement uniques (Rochette 1973, Marchal & Del Negro 1991, Byrd 1995b, par exemple).



Dans le cas de gestes homo-organiques antagonistes, le premier geste peut être stoppé par l'attaque du second geste du fait d'une réduction temporelle importante. Ce patron correspond au processus de troncation mis en évidence pour les voyelles inaccentuées en anglais.

Les relations de phase inter-gestuelles interviennent également pour des gestes hétéro-organiques pour lesquels les articulateurs impliqués sont, en partie au moins, différents et relativement indépendants, comme la lèvre supérieure (ou inférieure dans une moindre mesure) et la mâchoire, l'apex et le dos de la langue, etc.. Dans ce cas, les interférences, notamment au niveau spatial, degré de constriction et lieu d'articulation, sont relativement réduites et les gestes peuvent plus librement se chevaucher temporellement.

Néanmoins, dans ce cas de figure, la position accentuelle, ou syllabiques et lexicales (Byrd 1996, Krakow 1989), ou l'importance des frontières prosodiques (Byrd et al. 2000) ou syntaxiques (McClellan 1973, Hardcastle 1985), constituent également des facteurs pouvant contraindre la coproduction des gestes, en imposant par exemple un chevauchement temporel moins important<sup>19</sup>.

Ce point est étudié par Nittrouer et al. (1988) qui analysent en anglais l'effet d'un accent nucléaire focal sur la relation de phase entre la fin de la fermeture labiale (lèvre supérieure) des consonnes /p, m/ et le début de l'ouverture mandibulaire de la voyelle précédente /a/. Les résultats montrent, conformément à ceux obtenus par Beckman & Cohen (1999) et par Harrington et al. (1995), qu'en syllabe inaccentuée, par rapport au geste mandibulaire, le geste labial est systématiquement réalisé plus tôt qu'en syllabe accentuée.

#### 1.4.2. Les études relatives au français

Peu d'études sur le français concernent l'examen du timing des gestes articulatoires en fonction de la structure prosodique. Outre celle de Vatikiotis & Kelso (1993) présentée ci-dessus et sur laquelle nous ne reviendrons, nous n'avons à notre connaissance que les travaux de Fletcher & Vatikiotis-Bateson (1990) et de Vatikiotis-Bateson & Fletcher (1992)<sup>20</sup>.

La comparaison avec l'anglais est intéressante. D'une part, le français est une langue *syllable-time* et ne montre donc pas de réduction vocalique en syllabe inaccentuée comparable à l'anglais. D'autre part, en dehors de l'accentuation rythmique et pragmatique, prééminences accentuelles et frontières prosodiques de regroupements supérieurs se superposent. L'accent nucléaire final en français pourrait donc montrer au niveau de l'articulation supralaryngée un pattern différent ou mixte entre effet de prééminence et effet de frontière, c'est-à-dire intermédiaire entre allongement final par réduction de la tension des gestes et allongement corrélatif à l'accent reposant sur une modification du timing inter-gestuel.

De l'aveu même de leurs auteurs, l'article de 1992 n'est pas réellement informatif du fait d'effets croisés complexes entre les nombreux facteurs étudiés et d'une interaction importante des locuteurs pouvant montrer des comportements inverses (Vatikiotis-Bateson & Fletcher 1992 : 345). Nous ne rendrons dès lors que compte de l'étude de 1990.

Cet article s'intéresse à l'effet de la position finale et des accents internes de groupe intonatif (accents rythmiques, initiaux et finals confondus) sur l'ouverture du complexe mâchoire-lèvre inférieure, à partir de l'iteration en /mamama/ et en /papapa/ d'une phrase modèle.

Les auteurs montrent que l'accent final de constituant intonatif induit un geste nettement plus long, ample et véloce que les accents internes de constituant, eux-mêmes montrant les mêmes effets par rapport au contexte inaccentué, mais avec une différence bien moindre que celle relative au premier contraste accentuel. Les patterns spatio-temporels propres à chacun des contrastes prosodiques sont relativement différents au regard des phases d'accélération et de décélération de l'ouverture de la

<sup>19</sup> L'influence de la position syntagmatique dans l'énoncé en fonction des frontières prosodiques, lexicales ou syntaxiques sur le timing articulatoire est exposée ci-dessous (cf. §1.2.2).

<sup>20</sup> Nous n'avons pu avoir accès à celui de Vatikiotis-Bateson, E. (1988), *Linguistic structure and articulatory dynamics : a cross-linguistic study*, Bloomington : Indiana University Linguistics Club. Mais, cette étude semble reposer sur les mêmes résultats que les autres travaux de cet auteur exposés ici.

mâchoire. La phase d'accélération est relative à l'intervalle temporel entre la fermeture maximale dans la consonne et le pic de vitesse lors de l'ouverture de la voyelle. La phase de décélération correspond à l'intervalle temporel entre ce pic de vitesse et l'ouverture maximale de la voyelle.

Les syllabes inaccentuées sont caractérisées par une accélération du geste d'ouverture CV plus courte et une amplitude moins importante que les syllabes accentuées, sans qu'un effet apparaisse concernant la décélération du geste. Ce profil articulatoire indique que la tension du geste est plus importante en position inaccentuée (Byrd & Saltzman 1998), et que cette modification de la spécification dynamique intra-gestuelle est interprétable comme une stratégie articulatoire afin de produire des versions gestuelles réduites, c'est-à-dire des gestes plus « petits » en syllabe inaccentuée. Le contraste entre syllabe accentuée et syllabe inaccentuée reposerait donc sur une modification interne de la dynamique des gestes.

L'accent final, au contraire, est réalisé par un patron articulatoire dynamique différent. Dans ce contexte, seule la phase de décélération du geste d'ouverture CV est spécifiquement allongée, le geste étant par ailleurs plus ample que sous l'accent interne et en syllabe inaccentuée. Cette manœuvre dynamique articulatoire pourrait correspondre à une autre stratégie : retarder le geste de fermeture consonantique subséquent en allongeant la partie finale du geste d'ouverture vocalique, cet allongement permettant par ailleurs d'atteindre un déplacement vertical plus extrême.

Ainsi, au regard des syllabes inaccentuées, accent interne et accent final répondent dans la première partie du geste (la phase d'accélération) à un même patron articulatoire dynamique reposant sur une réduction de la tension du geste afin de réaliser un mouvement plus long et ample. Par contre, dans la fin du geste d'ouverture CV, l'accent final se distingue de l'accent interne par une phase finale plus longue permettant d'éloigner le geste de fermeture consonantique, probablement pour éviter une troncation du geste d'ouverture.

Dans un autre registre, nous avons analysé, dans deux études (Meynadier et al. 1998ab), les effets d'un accent focal contrastif sur la coproduction linguopalatale dans le groupe quadri-consonantique /kskl/ en français.

Alors que, d'un point de vue spatial, peu ou aucun effet homogène entre les locuteurs est observé sur l'articulation des consonnes, l'accent induit une modification du patron spatio-temporel de contact linguopalatal dans certains enchaînements inter-consonantiques du groupe.

Globalement, l'accent (sur la voyelle précédant ou suivant le groupe) provoque un allongement de toutes les séquences bi-consonantiques. Cet allongement de la durée des gestes n'est pas accompagné par une diminution du chevauchement inter-gestuel. En effet, à ce niveau la coordination entre les gestes articulatoires contigus n'est pas affectée par l'accent, et il semble plus tôt, au contraire, que la durée du chevauchement augmente proportionnellement avec l'allongement de la séquence.

Par contre, il apparaît que pour certaines séquences consonantiques, particulièrement /sk/ et /kl/, l'intervalle temporel entre les phases de tenue (contact linguopalatal maximal) des deux consonnes est plus important sous l'accent qu'en position inaccentuée. De plus, l'allongement de cet intervalle n'est pas corrélé à l'allongement général de la séquence, comme l'est en bonne partie le chevauchement inter-gestuel.

L'accent induirait donc directement un écart temporel plus important entre les phases de tenue des gestes linguopalataux contigus. Cet écart semble dans une grande partie réalisé par un allongement spécifique du relâchement de la constriction linguopalatale de la première consonne des séquences bi-consonantiques.

Ainsi, l'accent focal contrastif en français provoquerait une modification du timing des gestes d'articulation linguopalatale par un retardement de la constriction maximale de la seconde consonne dans les séquences CC, même si cette modification est en partie dépendante de la nature des contraintes articulatoires ou aérodynamiques inhérentes au type d'enchaînement CC.

## **1.5. Conclusions sur l'articulation supraglottique sous l'accent**

Les travaux sur l'articulation supraglottique de l'accent montrent que la structure prosodique

n'est pas seulement marquée par des variations suprasegmentales, relatives à l'évolution spatio-temporelle de la F0, et de l'intensité, et à la durée acoustique, mais également de manière systématique et non aléatoire par des variations articulatoires particulières. Ces variations ne sont pas d'ordre statique, mais répondent à des patterns spatio-temporels intra- et inter-gestuels, offrant ainsi une base articulatoire dynamique à la structure rythmique des énoncés.

Cette dimension spatio-temporelle des variations articulatoires liées à l'accentuation fournit des arguments importants à la théorie de la Phonologie Articulatoire (Browman & Goldstein 1986, 1989, 1992) qui pose le geste articulatoire comme la primitive élémentaire de la description et de la représentation phonologique de la parole. Par sa nature intrinsèquement temporelle, le geste semble pouvoir constituer l'unité structurelle idéale pour rendre compte du caractère dynamique de la parole et des relations rythmiques entre les différents niveaux de représentation prosodique et segmentale. En ce sens, le segment, en tant que matrice de traits acoustiques, constitue une unité phonologique éminemment statique qui ne permet pas d'établir un lien direct avec les propriétés dynamiques de la parole.

De plus, la seule prise en compte de la dimension temporelle n'est pas non plus suffisante pour aborder de manière intégrée les relations entre articulation supraglottique et structure prosodique. En effet, les variations temporelles (horizontales) reposent sur une évolution spatiale (verticale) d'événements articulatoires ou acoustiques dans le temps, permettant la réalisation des contrastes syntagmatiques et paradigmatiques dans la parole. Ainsi, le seul examen des variations temporelles relevant de la structuration rythmique et prosodique de l'énoncé ne permet pas de faire le lien avec sa réalisation physique (articulatoire et acoustique) dans l'acte de parole.

Les travaux de Beckman et ses collègues sont en ce sens importants. Ils montrent que la seule prise en compte de la durée acoustique ne permet pas de rendre compte des différentes stratégies articulatoires d'allongement syllabique attachées à l'expression de la structuration de l'énoncé, alors que les marqueurs organisationnels de l'énoncé sont produits par des mécanismes articulatoires différents selon la tâche linguistique (ou prosodique) à effectuer.

Ces manœuvres dynamiques articulatoires ayant des manifestations acoustiques différentes, elles pourraient donc être perçues et actives dans l'identification et la reconnaissance des différentes marques structurelles de l'énoncé : « *Increase articulator displacement, decrease velocity, and a longer steady state all will result in a longer syllable duration as measured from the spacing of abrupt energy transitions in the acoustic signal. However, while the effects on acoustic duration are the same, the effect on perceived rhythmic structure may not be identical, since these different articulatory maneuvers have distinct consequences for spectral dynamics and acoustic energy, resulting in different syllable-internal formant and amplitude patterns. If such differences are systematically associated with different levels of linguistic description, they will be a problem for timing that refer directly to syllable or segment durations.* » (Edwards & Beckman 1988 : 159) ; « *In others words, what humans generate and recognize is not the static segmental property of acoustic interval duration, but the dynamic gestural property of spectral change over the time.* » (Beckman & Cohen 1999 : 174-175).

## 2

### **Un marquage graduel selon la hiérarchie prosodique**

Dans cette partie, nous ne nous intéressons plus directement aux corrélats suprasegmentaux des prééminences accentuelles, mais spécifiquement au marquage articulatoire des positions fortes (initiale et finale) dans les constituants prosodiques.

La constituance prosodique rend compte de la structuration de l'énoncé selon une organisation hiérarchique des unités prosodiques qui le composent. Cette hiérarchie renvoie à l'importance de la prééminence qui constitue la tête du constituant et à celle de sa frontière finale démarcative.

Plus les constituants prosodiques opèrent des regroupements syntagmatiques importants et répondent à des démarcations phonologiques, pragmatiques ou morpho-syntaxiques majeures et fondamentales

dans l'énoncé, plus ils occupent une place élevée dans la hiérarchie.

Une position hiérarchique plus élevée s'accompagne de marques phonétiques suprasegmentales plus extrêmes qui identifient les constituants : allongement syllabique (Ladd & Campbell 1991, Wightman et al. 1992, Astésano 1999), excursion de la F0 (Rossi et al. 1981, Martin 1982), et de l'intensité (Rossi 1999).

Les marques articulatoires des proéminences et des frontières semblent accompagner parallèlement la hiérarchie des constituants prosodiques.

Beckman & Edwards (1994) montrent que le niveau le plus bas de la hiérarchie des proéminences, relatif au contraste entre accent lexical et la syllabe *unstressed*, repose sur des différences articulatoires plus constantes et plus marquées que le niveau le plus haut, relatif au contraste entre l'accent nucléaire et les syllabes inaccentuées. Cette différence tient au fait que le contraste opéré par l'accent lexical répond à une spécification segmentale inhérente au noyau vocalique (voyelle pleine vs réduite), alors que celui effectué par l'accent nucléaire repose essentiellement sur le contour mélodique, imposant dès lors des modifications articulatoires plus optionnelles et moins drastiques, car non déterminées segmentalement.

Reste que les corrélats articulatoires qui marquent la proéminence supérieure sont plus extrêmes que ceux produits pour la proéminence inférieure. Ainsi, le degré de renforcement articulatoire semble pouvoir suivre globalement la hiérarchie prosodique des proéminences : voyelle inaccentuée réduite (« *unstressed* ») < voyelle pleine accentuée lexicalement (« *stressed* », tête de pied métrique) < voyelle accentuée portant le contour mélodique (« *nuclear-pitch accent* », tête de constituant prosodique).

Cela semble aussi le cas des frontières finales de groupes intonatifs (cf. Edwards & Beckman 1988, 1992, Edwards et al. 1991, Beckman et al. 1992).

Concernant le français, on peut faire également l'hypothèse d'un marquage articulatoire croissant des proéminences et des syllabes finales de constituants selon la hiérarchie prosodique.

Ainsi, Løevenbruck (1999, 2000) montre que les corrélats hyperarticulatoires de l'accentuation suivent la hiérarchie de proéminence suivante : accent initial rythmique < accent final de groupe < accent focal contrastif (cf. tableau I.2.1).

Pour leur part, les résultats de Fletcher & Vatikiotis-Bateson (1990) indiquent que des excursions mandibulaires spatio-temporelles plus amples et longues distinguent l'accent final de groupe intonatif des accents internes (initial ou final de mot).

## 2.1. Deux positions prosodiques fortes

Un certain nombre de travaux ont mis en évidence un marquage articulatoire concomitant aux positions fortes des constituants prosodiques répondant graduellement à leur place dans la hiérarchie prosodique.

Communément, deux positions syntagmatiques dans les constituants prosodiques sont considérées comme fortes. La position finale est le lieu d'expression de la frontière démarcative. La position initiale, même si elle n'est pas toujours accompagnée par des marques suprasegmentales, est également présentée comme une position dominante dans le constituant prosodique. Ainsi, Keating (1995a) propose que celle-ci soit considérée comme une position forte du fait qu'elle apparaît bien souvent comme un lieu privilégié d'une hyperarticulation des segments.

On peut également interpréter ces deux lieux comme des positions de frontière de constituant : la position initiale en étant l'attaque et la position finale la fin. Ces deux positions participeraient ainsi à la démarcation, gauche pour l'initiale (Astésano et al. 2002) et droite pour la finale, des constituants prosodiques.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, il n'y a pas à l'heure actuelle de consensus sur le nombre et l'organisation hiérarchique des constituants prosodiques.

Au moins trois constituants prosodiques sont largement acceptés. Ils sont relatifs aux limites inférieure et supérieure de la hiérarchie prosodique : respectivement, la syllabe, le groupe accentuel et le groupe

intonatif. La première constitue l'unité d'intégration des segments et est à la base du rythme. La dernière est l'unité prosodique structurelle des regroupements majeurs de l'énoncé.

Les propositions théoriques diffèrent s'agissant du groupe accentuel (ou mot prosodique), intermédiaire entre les constituants syllabique et intonatif, que tout le monde s'accorde à reconnaître, mais dont la définition n'est pas consensuelle (cf. Jun & Fougeron 1995 et Hirst & Di Cristo 1996 pour une discussion).

Dans cette partie, nous rendons compte des principaux travaux qui montrent qu'un renforcement articulatoire croissant des segments, ou qu'une réduction de la coarticulation, peut accompagner graduellement l'importance hiérarchique des constituants prosodiques, ou des démarcations morpho-syntaxiques, tant au regard de la position initiale que de la position finale.

Nous nous intéressons principalement aux unités supérieures au mot lexical<sup>21</sup>.

## 2.2. La position initiale de constituant

Un certain nombre d'études concernent spécifiquement les marques articulatoires qui accompagnent les segments réalisés en position initiale de constituants prosodiques de différents niveaux hiérarchiques au delà du mot lexical. La plupart sont l'œuvre des membres de l'UCLA Phonetics Laboratory Group.

Cette partie rend compte principalement des travaux reposant sur une investigation articulatoire, mais aussi parfois seulement acoustique. Ils sont relatifs aux segments vocaliques et consonantiques post-frontalières, et dans une moindre mesure à la coarticulation ou la coproduction inter-gestuelle.

### 2.2.1. L'articulation glottique

Les constituants prosodiques supérieurs peuvent être marqués par un renforcement des articulations laryngées relatives à l'aspiration consonantique ou à la glottalisation vocalique, c'est-à-dire, les gestes d'ouverture glottique (abduction des cordes vocales) et de fermeture (adduction), mais aussi la coordination entre le geste d'ouverture linguale ou labiale et geste d'adduction des cordes vocales nécessaire au voisement de la voyelle suivante (VOT).

Dans une étude acoustique sur l'aspiration de /t<sup>h</sup>/ et de /h/ et sur la glottalisation des voyelles initiales de mot (/ʔ/) en anglais, Pierrehumbert & Talkin (1992) montrent que l'aspiration est plus faible et plus longue pour /t<sup>h</sup>/ et /h/ en début de groupe intonatif (*intonational phrase*) qu'en début de mot interne de constituant. Le caractère consonantique du segment initial est ainsi renforcé en début de constituant prosodique majeur du fait d'une réduction de l'énergie RMS du bruit d'aspiration et d'un retardement du geste d'adduction des cordes vocales de la voyelle par rapport au geste d'ouverture linguale de la consonne /t/.

Cette modification de la coordination inter-gestuelle est également mise en évidence par les études acoustiques de Jun (1993) et Hsu & Jun (1997)<sup>22</sup> concernant la durée du voice-onset time des consonnes aspirées initiales /p<sup>h</sup>/ et /k<sup>h</sup>/ respectivement en coréen et taiwanais.

Dans ces deux travaux, la durée du VOT augmente de manière catégorielle entre une position initiale de syllabe interne de mot, initiale de mot et de groupe accentuel ou de groupe intonatif. Hsu & Jun montrent, par contre, que la durée du VOT /t/ (non aspiré) en position initiale n'est pas sensible à la hiérarchie prosodique. Cela indique qu'en position initiale les constituants prosodiques supérieurs favorisent un renforcement des traits distinctifs laryngés de ces consonnes.

Concernant les gestes de fermeture glottique des attaques vocaliques, Pierrehumbert & Talkin (1992) rapportent que la position prosodique de la voyelle en initiale de groupe intonatif favorise la réalisation plus fréquente d'une glottalisation, même dans le cas de frontière non marquée par une

<sup>21</sup> Pour une revue relativement exhaustive des contrastes articulatoires selon la position lexicale et syllabique initiale et finale, cf. Fougeron (1998).

<sup>22</sup> Citée par Fougeron (1998).

pause. Par contre, un renforcement croissant de l'apériodicité des vibrations glottiques n'est pas mis en évidence.

Ces résultats sont confirmés et précisés par l'étude de Dilley et al. (1996). Ces auteurs observent sur un corpus de parole radiophonique de 3709 voyelles glottalisées que leur fréquence d'apparition augmente significativement et graduellement, d'une part, de la position médiane de syntagme à la position initiale, et, d'autre part, de la position initiale de mot à celle initiale de groupe intonatif mineur (*intermediate intonational phrase*) et à celle de groupe intonatif majeur (*full intonational phrase*).

Pour le français, ce phénomène n'est que partiellement confirmé par l'étude Fougeron (1998) sur la glottalisation de /i/ en attaque de constituant prosodique. Elle montre que ces cas n'apparaissent jamais en position initiale de mot interne de groupe accentuel, mais qu'en position initiale de groupe accentuel ou intonatif 20 à 100 % des /i/ sont réalisés avec un coup de glotte. Pour ces deux contextes, les locuteurs montrent néanmoins des comportements inverses par rapport à la hiérarchie prosodique.

### 2.2.2. L'articulation nasale

Un renforcement graduel est également observé s'agissant de l'articulation nasale des consonnes et des voyelles initiales.

Gordon (1996), dans une étude articulatoire sur la nasalité consonantique en estonien, montre que le débit d'air nasal de la consonne /n/ diminue graduellement de la position initiale de syllabe interne de mot, à celle de mot et à celle de groupe intonatif, traduisant une position de plus en plus haute du voile en fonction de la place élevée du constituant dans la hiérarchie prosodique.

L'étude de Fougeron (1998) sur la même consonne en français ne corrobore que faiblement ce résultat. Bien qu'une tendance globale à la diminution du débit d'air nasal de /n/ initial ressorte, plus le constituant est important, seule véritablement la position initiale de groupe intonatif se distingue des autres positions, en contexte symétrique de voyelles fermées ou ouvertes.

Concernant la voyelle /ã/, également analysée par cet auteur, seuls deux des quatre locuteurs montrent une diminution significative de son débit d'air en position initiale de groupe accentuel et intonatif par rapport à celle de mot. Ces faits montrent tout de même une influence du niveau du constituant prosodique sur l'élévation du voile du palais, même si elle n'est pas réellement graduelle.

Plutôt qu'un renforcement du contraste distinctif de nasalité des segments, une position prosodique initiale hiérarchiquement élevée semble favoriser, par une réduction du passage vélo-pharyngé, le consonantisme ou la vocalisme des segments, à savoir un contraste entre macro-classes phonémiques.

### 2.2.3. L'articulation linguale

L'articulation linguopalatale (EPG) est la plus étudiée en début de constituant prosodique et est essentiellement le fait des chercheurs du laboratoire de phonétique d'UCLA.

Ainsi, Hsu & Jun (1997) montrent qu'en taiwanais le contact linguopalatal et la durée acoustique de /t/ augmentent entre les position interne de mot, initiale de mot et initiale de groupe intonatif.

Cho (1998) montre un effet encore plus fin de la hiérarchie prosodique pour les consonnes /t/ et /n/ en coréen. Une constriction plus large en début de constituant prosodique permet de distinguer jusqu'à cinq niveaux hiérarchiques. Le contact EPG s'élargit de manière catégorielle de la position initiale de syllabe à celle de mot et/ou de groupe accentuel, à celle de groupe intonatif, et enfin à celle d'énoncé.

Dans une étude EPG sur la syllabe /no/ en anglais (en parole réitérée à partir d'une phrase mathématique modèle), Fougeron & Keating (1997) isolent une influence régulière de la position syntagmatique initiale et graduelle de la position paradigmatic selon le niveau hiérarchique des constituants. Les auteurs évaluent l'effet de cinq niveaux hiérarchiques prosodiques : la syllabe interne de mot < le mot interne de groupe intonatif < le groupe intonatif mineur (*phonological* ou *intermediate phrase*) < le groupe intonatif majeur (*intonational phrase*) < l'énoncé.

Elles montrent ainsi que, pour les quatre niveaux hiérarchiques les plus élevés, la position initiale dans le constituant est marquée articulatoirement par un contact EPG plus important pour /n/ par rapport

à une position finale ou médiane ; par contre, la voyelle /o/ montre un contact linguopalatal plus inconstant selon ce facteur positionnel.

En fonction de l'influence croissante et graduelle (catégorielle) de la hiérarchie prosodique sur la consonne initiale ou la voyelle de syllabe initiale, selon les locuteurs, les résultats suivants ressortent :

- (1) le contact linguopalatal de /n/ augmente distinctivement selon 3 à 4 niveaux hiérarchiques et sa durée acoustique selon 4 ;
- (2) le contact linguopalatal de /o/ diminue distinctivement selon 2 à 5 niveaux.

Pour ces segments initiaux, les distinctions les plus régulières inter-individuellement concernent celles des niveaux intonatifs avec les constituants les plus bas : le groupe intonatif se distingue toujours (sauf pour un locuteur pour /o/) des positions non marquées prosodiquement (syllabe et mot), le syntagme phonologique quasi toujours de la syllabe et du mot, mais moins fréquemment du groupe intonatif. Le début d'énoncé ne se différencie quasi jamais du groupe intonatif ou du syntagme phonologique, ou peut occuper une position distinctive assez variable.

Si le renforcement de la consonne, par une constriction plus étroite, et de la voyelle, par un abaissement de la langue plus important, varie selon les sujets et le nombre de niveaux différenciés, une tendance claire apparaît concernant la nature catégorielle et croissante de celui-ci plus le constituant est important.

La thèse de Fougeron (1998) rapporte la même influence de la hiérarchie des constituants prosodiques sur les consonnes et les voyelles en français. Un nombre important de phénomènes articulatoires et de contextes différents y sont étudiés. Nous ne rendons compte ici brièvement que des effets sur l'articulation linguopalatale (EPG) les plus marqués et les plus réguliers entre les deux locuteurs étudiés.

L'auteur analyse l'influence de la position initiale de constituant selon cinq niveaux : (a) syllabe, (b) mot, (c) groupe accentuel, (d) groupe intonatif et (e) phrase (par ordre hiérarchique croissant). Seuls les constituants (a, b, c) peuvent être considérés comme véritablement prosodiques. Nous excluons de cette présentation le niveau (e) qui ne se distingue pas du groupe intonatif.

Selon l'importance hiérarchique croissante en quatre niveaux de constituance (a < b < c < d), les résultats suivants sont rapportés :

- (1) les occlusives /n, t, k, l/ ont un contact EPG et une durée globale ou de leur occlusion plus importants (de 2 à 4 distinctions) ;
- (2) la fricative /s/ montre une moins grande sensibilité que les occlusives, le renforcement de sa constriction linguopalatale ne permettant de distinguer que deux niveaux : mot < groupe intonatif (selon les locuteurs, groupe accentuel = mot ou groupe intonatif) ;
- (3) le contact EPG augmente pour la voyelle /i/ selon deux niveaux : mot < groupe accentuel ou intonatif.

La distinction paradigmatique la plus robuste entre les locuteurs et les différents segments est celle entre les constituants les plus extrêmes, c'est-à-dire entre syllabe/mot et groupe intonatif. Généralement, au moins deux distinctions au-dessus de la syllabe sont effectuées.

Les variations articulatoires observées ne sont pas aléatoires, mêmes si elles sont ténues et facultatives. Elles répondent, au moins en partie, à une organisation hiérarchique de la structure prosodique des énoncés.

#### **2.2.4. Une coarticulation réduite**

Peu de travaux traitent spécifiquement d'une réduction de la coarticulation en attaque de constituant selon la hiérarchie prosodique.

Aux niveaux hiérarchiques inférieurs, de la syllabe et du mot, la résistance phonétique des segments initiaux est bien connue.

S'agissant des groupes de consonnes par exemple, Byrd (1996) montre que la position initiale lexicale influence le timing articulatoire dans les groupes de consonnes linguopalataux composés d'une consonne antérieure et postérieure (du type /gd/, /dg/, /ks/ et /sk/). Dans le mot, un groupe tend à

être produit avec un chevauchement inter-gestuel moins important et moins variable en attaque qu'en coda, ou qu'en position inter-lexicale.

Ces résultats reproduisent une observation de Hardcastle (1985) à propos du groupe /kl/ qui montre un chevauchement temporel plus réduit entre les gestes linguaux en attaque de mot qu'en médiane ou séparés par une frontière lexicale.

Les effets rapportés de la position initiale pour les constituants plus élevés sont relativement rares.

Fougeron & Keating (1997) notent que la différence de contact linguopalatal en /n/ et /o/ en syllabe initiale augmente avec la hiérarchie prosodique et permet de distinguer paradigmatiquement de 3 à 5 constituants selon les locuteurs. Le contraste d'aperture linguale CV semble donc renforcé en position initiale, des constituants prosodiques inférieurs aux constituants supérieurs.

Fougeron (1998) analyse l'intervalle temporel inter-gestuel dans le groupe /kl/ en position initiale de constituant : mot, groupe accentuel et groupe intonatif. Elle montre que cet intervalle s'accroît significativement entre les constituants extrêmes pour les deux locuteurs : mot < groupe intonatif. Par contre, sa durée rapportée à celle du groupe, ne montre aucun effet significatif du niveau hiérarchique. Néanmoins, les cas de double occlusion sont moins fréquents en début de groupe intonatif qu'en début de mot.

L'auteur interprète ces résultats comme une absence de changement du timing entre le geste dorsal et apical dans le groupe, l'allongement de l'intervalle inter-gestuel paraissant proportionnel à celui de la séquence, et plus particulièrement de /k/.

Dans une étude de Marchal & Meynadier (1996), ce même groupe montre un comportement identique en fonction d'une production dans une phrase et en mot isolé. La nature de l'allongement de la séquence (prosodique ou mode parole) ne se traduirait peut être donc pas par un timing articuloire différent pour ce groupe.

On peut ainsi raisonnablement estimer que la position initiale des segments favorise un renforcement articuloire et que celui-ci est globalement croissant selon l'importance hiérarchique du constituant dont il compose l'attaque, même si tous les paliers hiérarchiques ne correspondent pas à un degré catégoriel de renforcement.

Par contre, peu d'éléments sont rapportés concernant l'effet de la position initiale dans les constituants prosodiques sur la coarticulation ou le timing inter-gestuel.

La partie suivante présente des travaux s'intéressant plus spécifiquement à ces aspects, que ce soit en fonction de la position initiale, finale ou à cheval des segments en frontière prosodique.

### **2.3. La position finale de constituant et la coarticulation trans-frontalière**

Nous présentons ici les travaux articuloires (et parfois acoustiques) s'intéressant à l'articulation finale et à la coarticulation trans-frontalière entre position finale et position initiale de constituant prosodique ou syntaxique de différents niveaux hiérarchiques.

Dans un dernier temps, nous résumons les travaux de Byrd et ses collègues (Byrd & Saltzman 1998, Byrd 2000, Byrd et al. 2000) qui ont entrepris une étude systématique de la dynamique articuloire intra- et inter-gestuelle pré-, post- et trans-frontalières selon l'importance hiérarchique des frontières de constituant prosodique.

#### **2.3.1. La position finale**

Concernant l'articulation en syllabe finale de constituant prosodique, les travaux de Beckman et ses collègues (cf. §1.2:1.1.2.c) montrent qu'elle est caractérisée par un allongement important sans changement notable de l'amplitude de déplacement du geste articuloire final. Ce pattern articuloire est produit par une réduction de la tension intra-gestuelle permettant un ralentissement du tempo localisé en fin de constituant intonatif majeur.



Néanmoins, si ces travaux, comme ceux de Fletcher & Vatikiotis (1990) ou de Løevenbruck (1999, 2000) sur le français, nous éclairent sur le marquage articulatoire particulier des segments finaux de constituants, ils ne portent pas directement sur la question de la sensibilité des articulations finales à une influence croissante de la hiérarchie des constituants prosodiques.

Alors que la position initiale de constituant a fait l'objet d'une plus grande attention dans les études récentes, à notre connaissance, seuls Fougeron & Keating (1997) et Byrd et ses collègues ont jusqu'ici abordés spécifiquement cet aspect.

Ainsi, Fougeron & Keating (1997) montrent que le contact linguopalatal maximal de la voyelle /o/ en position finale de constituant diminue progressivement selon le niveau hiérarchique de la frontière finale.

Cette ouverture (ou postériorité) graduellement plus grande de la voyelle permet de distinguer hiérarchiquement de 2 à 3 niveaux prosodiques pour deux des trois locuteurs étudiés : fin de syllabe interne de mot et final de mot = final de syntagme phonologique < final de groupe intonatif. De même, sa durée acoustique croissante permet de différencier de 2 à 4 niveaux prosodiques pour les trois locuteurs.

Il apparaîtrait donc que la hiérarchie prosodique puisse induire non seulement un allongement, mais également une amplitude d'ouverture de cette voyelle graduellement croissante des niveaux prosodiques inférieurs aux supérieurs.

### **2.3.2. Une réduction de la coarticulation et de la coproduction trans-frontalière**

Concernant l'articulation trans-frontalière, un certain nombre d'études sont relatives à la réduction de la coarticulation entre des segments séparés par différents niveaux de frontières morpho-syntaxiques. Ces études, pour la plupart relativement anciennes, rendent compte d'une réduction plus ou moins progressive de la coarticulation selon l'absence ou la présence de frontières syntaxiques mineures ou majeures. Ces travaux ne sont pas abordés sous l'angle prosodique, mais permettent de penser au regard des relations entre prosodie et syntaxe que les deux hiérarchies sont dans une bonne mesure parallèles dans le contexte étudié, à savoir en phrases isolées.

Lewis et al. (1975), dans une analyse du contact linguopalatal de l'apex dans l'articulation de /n/ devant /θ/ en anglais, relatent que son assimilation dentale n'est pas réduite selon l'importance de la frontière syntaxique inter-segmentale. Ils comparent les frontières de syllabe, de mot, de proposition principale et de phrase.

Même séparé par une frontière syntaxique majeure (de proposition ou de phrase) marquée par une pause longue (jusqu'à 300 ms), /n/ (alvéolaire) voit son lieu d'articulation antériorisé du fait de la constrictive dentale /θ/ suivante, alors que dans les autres contextes phonotactiques /n/ n'est réalisé ainsi que dans 5 % des cas.

Ces résultats ne sont cependant pas confirmés par un certain nombre d'autres études portant sur la même question.

Ainsi, McClean (1973) étudie au moyen de la cinéradiographie le timing de l'abaissement du voile dans la séquence CV#Vn en anglais.

Il montre qu'en frontière majeure syntaxique (de proposition et de phrase) le début de l'abaissement du voile, réalisé pour la consonne /n/ post-frontalière, est retardé par rapport à l'articulation linguale de la voyelle pré-frontalière. Alors qu'en frontière lexicale (adjectif-nom) ou mineure (sujet-verbe) le geste du voile commence dans la voyelle pré-frontalière, en frontières majeures il est initié avec le début du geste lingual de la voyelle post-frontière, quelle que soit la durée de la syllabe CV finale précédente.

Su et al. (1975) font une observation du même ordre dans leur étude acoustique de l'influence des voyelles initiales de syntagme, /i/ et /o/, sur le timbre de la consonne précédente /m/. Les segments sont séparés par une frontière de mot (prénom-nom de famille, déterminant-nom), par une frontière syntaxique mineure (sujet-verbe), ou majeure entre le syntagme prépositionnel pré-posé et la proposition, ou entre deux propositions principales de la phrase.

L'influence acoustique des voyelles est réduite en frontières majeures par rapport aux frontières mineures ou de mot. Reste que les frontières majeures sont réalisées avec des pauses d'une durée moyenne 15 fois supérieure à celles pouvant être produites dans les contextes inférieures, et que leur incidence sur la réduction de la coarticulation dans  $m\#V$  n'est pas exclue.

Hardcastle (1985) analyse, au moyen de l'EPG, le délai temporel entre l'approche de l'occlusion de /l/ et le début de l'occlusion de /k/ dans le groupe /kl/ placé dans différents contextes syntaxiques : médian de mot, initial de mot, à cheval entre deux mots, entre deux propositions principales et entre deux phrases.

D'une part, l'auteur observe un dévoisement de /l/ moins important en frontières syntaxiques majeures (environ 40 % de sa durée) que dans les autres contextes (environ 60 %).

D'autre part, l'intervalle temporel entre le geste apico-alvéolaire et dorso-vélaire s'accroît nettement, malgré des variations individuelles importantes. Trois locuteurs sur quatre montrent ce comportement dans au moins un des deux contextes vocaliques étudiés (/i, a/) mais seulement pour un débit lent : « *In general, therefore, it appears that the condition least favorable to co-articulation is the prosodically marked clause or sentence boundary condition at slow rate utterance* » (p. 257).

On peut noter également deux autres faits intéressants caractéristiques de l'articulation en frontières syntaxiques majeures :

- (1) les gestes ne se chevauchent jamais ;
- (2) l'intervalle tend à être plus long en frontière de phrase qu'en frontière de proposition principale.

Ces résultats permettent de penser qu'une réduction graduelle de la coproduction, ou de la coarticulation, pourrait répondre à une influence croissante des frontières selon l'importance de la démarcation qu'elles opèrent dans l'énoncé. Cependant, l'auteur ne rapporte pas la réalisation des pauses par les locuteurs.

Marchal (1985, 1988b), dans une analyse du chevauchement dans le groupe /kt/ et /dg/, observe la même incidence sur l'enchaînement inter-consonantique en frontière syntaxique et prosodique majeure par rapport à une frontière de mot.

Même, si son étude ne porte pas explicitement sur le niveau de frontière inter-consonantique, ces observations montrent que « on peut retrouver un principe général commun [dans la production de la parole] : soit celui de la coproduction des groupes de consonnes. Seule la frontière majeure de phrase interdit ce type de coarticulation. » (Marchal 1985 : 490).

Fougeron et Keating (1997) rendent compte d'une réduction de la coarticulation VC graduelle en fonction de la hiérarchie selon la différence de taux de contacts EPG entre la voyelle finale /o/ et la consonne /n/ initiale de constituant prosodique.

Le contraste d'aperture linguopalatal augmente selon trois niveaux hiérarchiques croissants de frontière pour deux des trois locuteurs étudiés : syllabe interne de mot = mot < syntagme phonologique = groupe intonatif.

Dans une étude acoustique de la coarticulation de voyelle à voyelle en frontière prosodique de différents niveaux ( $bV\#bV$  où la voyelle est alternativement /i/ ou /a/), Cho (1999) montre, à partir des variations observées des valeurs de F1 et F2, que la coarticulation progressive, comme régressive, réduit graduellement plus le niveau de frontière prosodique est élevé : mot < groupe intonatif intermédiaire (*intermediate phrase*) < groupe intonatif majeur (*intonational phrase*).

Globalement, il apparaît donc que l'articulation des segments en finale de constituant prosodique peut être renforcée, comme en initiale, et que l'intervalle inter-gestuel en frontière est plus long, plus la frontière est relative à des constituants élevés dans la hiérarchie prosodique ou syntaxique, provoquant une diminution de la coarticulation dans ces contextes.

### 2.3.3. Les travaux de Byrd et de ses collègues

Byrd et ses collègues ont entrepris récemment une analyse plus générale de l'articulation en frontière de constituant prosodique (Byrd & Saltzman 1998, Byrd 2000, Byrd et al. 2000). Leurs études veulent rendre compte des effets au niveau de la dynamique articulatoire tant en position initiale et finale que dans les enchaînements C#C, V#V et V#C trans-frontaliers en fonction de la hiérarchie des démarcations prosodiques.

Leurs résultats rejoignent ceux obtenus par Beckman et ses collègues concernant le mécanisme articulatoire réalisant l'allongement final de constituant intonatif majeur. Nous présentons ici un résumé de leurs travaux qui empruntent le modèle articulatoire de la Dynamique de Tâches.

#### 2.3.3.a. Byrd et Saltzman (1998)

L'article de Byrd & Saltzman (1998) s'intéresse à l'évolution spatio-temporelle des gestes d'aperture labiale des consonnes pré- et post-frontalières dans la séquence /mə#mi/. Cette séquence est réalisée en interne de mot ou de mot composé, en frontière d'intonation de liste (énumération), en frontière d'intonation vocative (appel) et en frontière d'énoncé. Les auteurs ne proposent pas de « label » prosodique et théorique des catégories observées.

On peut penser cependant qu'au vu des contours mélodiques stylisés fournis pour chaque contexte prosodique et chaque locuteur que les contextes proposés correspondent à la hiérarchie prosodique suivante : frontière non prosodique interne de mot < frontière intonative mineure (*intermediate intonational phrase* chez Beckman, ou *groupe accentuel* chez Jun & Fougeron) < groupe intonatif majeur (*full intonational phrase* chez Beckman ou groupe / unité intonative chez Hirst & Di Cristo et chez Jun & Fougeron) < frontière de phrase (intonation conclusive).

Les résultats de leur analyse montrent que le geste d'ouverture de la consonne pré-frontalière et celui de fermeture de la consonne post-frontalière sont plus longs et plus amples. Ces deux dimensions sont fortement corrélées ( $0,77 < r < 0,91$ , selon les locuteurs) et opèrent quasiment les mêmes distinctions pour les contextes étudiés, elles-mêmes peu différentes de celles effectuées selon la durée globale de la séquence /mə#m/.

Généralement, deux à trois niveaux prosodiques se différencient par l'amplitude spatio-temporelle des gestes selon la hiérarchie « proposée ». Les frontières intonatives se distinguent toujours des non intonatives (interne de mot composé ou non). La frontière intonative de fin d'énoncé est toujours le contexte montrant les variations les plus grandes et se distingue parfois des deux ou d'un des autres types de frontière intonative.

Les gestes articulatoires sont caractérisés par une tension articulatoire significativement plus faible, plus la frontière est importante selon les mêmes distinctions prosodiques effectuées par les paramètres d'amplitude et de durée des gestes.

Il ressortirait donc que tant les gestes finaux qu'initiaux de constituant sont amplifiés « proportionnellement » dans les dimensions temporelle et spatiale. Cet allongement reposerait principalement sur une réduction du tempo réalisée par une baisse de la tension articulatoire localisée sur les gestes en frontière de constituants intonatifs importants.

#### 2.3.3.b. Byrd (2000)

Byrd (2000) analyse ce même corpus en s'intéressant cette fois, d'une part, à la dynamique intragestuelle des articulations linguales vocaliques et des articulations consonantiques labiales en frontière de constituant, et, d'autre part, au timing inter-gestuel entre les consonnes et la voyelle post-frontalière (/m(ə)#mi/ et #mi).

Elle propose cette fois, à partir de l'inspection visuelle et auditive des contours mélodiques, une catégorisation prosodique des contextes étudiés selon trois niveaux hiérarchiques « athéoriques » : absence de frontière < frontière mineure < frontière majeure. Ces catégories regroupent cependant des contextes (type de phrases) différents selon les réalisations prosodiques des locuteurs. Ainsi, pour un locuteur la frontière d'énoncé est classée en frontière mineure, et l'intonation vocative est classée

différemment pour chacun des trois locuteurs dans les trois catégories prosodiques. Seuls les contextes « interne de mot composé ou non » sont invariablement classés dans la catégorie « sans frontière », la plus basse de la hiérarchie.

Les résultats généraux de cette étude confirment ceux de l'étude précédente. Concernant les voyelles, le geste d'élevation du corps de la langue, de /ə/ au déplacement maximal dans /i/, est allongé de façon catégorielle selon les trois niveaux de frontière pour les trois locuteurs. Cet allongement graduel repose principalement sur celui du geste vocalique final de constituant réalisé par une diminution de la tension articuloire.

L'allongement en frontière de constituant serait donc réalisé par un ralentissement articuloire localisé sur la voyelle finale des constituants intonatifs.

S'agissant du timing articuloire inter-gestuel CV en initial de constituant [#mi], il apparaît que seul un locuteur montre un intervalle croissant avec la hiérarchie prosodique selon les trois niveaux, les deux autres ne montrant pas d'effet significatif du type de frontière précédente. De plus, concernant le timing entre la consonne pré-frontalière et la voyelle post-frontalière [m(ə)#(m)i], l'intervalle temporel entre le pic de fermeture labiale de C1 et le pic de vélocité du geste lingual dans V2 suit le même schéma que la voyelle finale /ə/, c'est-à-dire augmente graduellement pour les trois niveaux hiérarchiques.

Reste que, dans le cas du timing entre C1 et V2, les différences entre les niveaux sont plus marquées que pour l'allongement de la voyelle finale /ə/. Cela indiquerait un retardement de l'articulation de la voyelle initiale de constituant par rapport à l'articulation consonantique finale précédente, reposant sur une modification de la coordination inter-gestuelle, plus la frontière prosodique est importante.

Ces deux études complémentaires montrent ainsi que les changements spatio-temporels articuloires intra- et inter-gestuelles des segments contigus à une frontière prosodique répondent globalement à une amplification graduelle en fonction de l'importance croissante de cette frontière.

L'allongement en frontière de constituant concerne principalement la consonne et la voyelle de la syllabe finale CV et la consonne initiale post-frontalière, mais peu ou pas la voyelle suivante. Il est réalisé par un ralentissement local de l'articulation, du fait d'une diminution de la tension intra-gestuelle.

Le poids prosodique de la frontière semble également, dans certains cas, modifier la coordination inter-gestuelle trans-frontalière, notamment en retardant l'articulation de la voyelle de la syllabe initiale par rapport à l'articulation de la consonne précédente finale de constituant.

Néanmoins, on peut penser que les pauses, réalisées par deux des trois locuteurs dans 20 à 100 % des items relatifs aux catégories intonatives mineures et majeures, d'une durée moyenne de 20 à 190 ms, jouent un rôle non négligeable dans le timing inter-gestuel trans-frontalier.

### **2.3.3.c. Byrd et al. (2000)**

Byrd et al. (2000) étudient l'effet de la frontière prosodique de différents niveaux sur l'enchaînement articuloire inter-gestuel entre consonne apicale (geste de la lame de la langue) et labiale (geste de la lèvre supérieure) dans les séquences /n#m/ et /m#n/ chez un locuteur en tamil. Trois niveaux prosodiques hiérarchiques de frontière sont distingués (par ordre croissant de leur importance) : frontière de mot, frontière intonative mineure (finale de sujet), frontière intonative majeure (intonation d'appel).

Pour toutes les mesures effectuées, seule la frontière majeure se différencie des deux niveaux inférieurs, la hiérarchie se réduisant donc à une distinction binaire entre frontière intonative majeure et non majeure ou non prosodique.

Les résultats montrent que les gestes directement contigus à la frontière majeure sont allongés spécifiquement pour les deux séquences étudiées.

L'ouverture de la consonne finale et la fermeture de la consonne initiale sont allongées par une

réduction de la tension intra-gestuelle articulatoire, sans chagement important de l'amplitude du déplacement maximal (sauf pour geste apical, mais il reste très faible). Ce pattern spatio-temporel des gestes indiquent que l'allongement par une diminution de la tension des gestes frontalières se traduit par un ralentissement articulatoire des gestes consonantiques non seulement avant une frontière majeure mais également directement après.

Cet allongement de l'ouverture pré-frontalière et de la fermeture post-frontalière se traduit par une modification de la coordination inter-gestuelle trans-frontalière. En effet, en frontière intonative majeure, le pic de déplacement de C1 est atteint significativement plus tôt par rapport au début de C2 pour les deux types de séquence. Le chevauchement articulatoire inter-consonantique est donc réduit quand une frontière majeure sépare les deux segments.

Il apparaît donc qu'en frontière de constituants intonatifs majeurs, la coproduction des consonnes hétéro-organiques frontalières est réduite par un retardement du geste de fermeture de la consonne initiale par rapport au début de la consonne finale du constituant précédent.

Cette modification de la coordination inter-gestuelle repose sur un allongement spécifique des gestes directement contigus à la frontière, provoqué par un ralentissement articulatoire du fait d'une diminution très localisée de la tension articulatoire des gestes, c'est-à-dire de l'ouverture pré-frontalière et de la fermeture post-frontalière.

Ce processus paraît réservé au marquage supralaryngé des frontières intonatives majeures, occupant la position la plus haute dans la hiérarchie des constituants prosodiques, et n'est pas ici attribuable à la production d'une pause finale.

## **2.4. Conclusions sur l'articulation en frontière**

Au terme de cette présentation, on peut noter que relativement peu d'études articulatoires se sont intéressées spécifiquement à la question d'un renforcement de l'articulation graduel en frontière de constituant prosodique selon leur importance hiérarchique croissante dans l'organisation prosodique. Malgré un engouement récent dans les études articulatoires pour cette question, les travaux relatifs à l'analyse de l'articulation des segments finals et de la coarticulation en frontière de constituant sont moins nombreux que s'agissant des segments en position initiale de constituants.

Globalement, même si les résultats obtenus sur cette question montrent, comme toute étude sur la parole, une variation importante inter-individuellement et selon les segments observés, notamment dans le nombre de niveaux hiérarchiques distingués selon les différents corrélats articulatoires liés à la structure prosodique, ceux-ci vont tous dans le sens d'un renforcement articulatoire et d'une réduction de la coproduction progressifs, voire catégoriels, plus la frontière prosodique est importante.

Cette tendance générale permet de penser que ces phénomènes de co-variation articulatoire ne sont pas aléatoires, bien qu'optionnels (pouvant, par exemple, faire l'objet d'une stratégie de compensation en l'absence de marquage suprasegmental, Harrington et al. 1998).

Cette variabilité semble pouvoir s'expliquer en partie par le fait que le marquage articulatoire supralaryngé de la hiérarchie prosodique en frontière de constituant est intrinsèquement pluri-paramétrique, et que les locuteurs ont le « choix » selon les contextes entre plusieurs dimensions articulatoires : différents articulateurs et différents axes de variation articulatoire : avant-arrière, haut-bas, spatial-temporel... Cette pluri-paramétrie n'est d'ailleurs pas propre à ces phénomènes. Elle est également typique du marquage suprasegmental par la F0, la durée et/ou l'intensité.

Reste qu'un effet est systématiquement rapporté entre les frontières de niveau inférieur (souvent non prosodique), syllabe interne au mot ou entre deux mots internes de syntagme, et celle du niveau prosodique le plus haut, à savoir la frontière intonative majeure.

Les niveaux prosodiques intermédiaires, typiquement les frontières intonatives mineures ou de groupe accentuel, apparaissent plus variablement marquées supraglottiquement, et se distinguent donc moins bien entre eux et avec les niveaux hiérarchiques inférieurs et supérieurs.

Bien souvent, les différences hiérarchiques opérées par le renforcement articulatoire se restreignent donc à une distinction binaire entre frontière intonative majeure et non intonative ou non prosodique.

Il est possible que l'une des raisons de cette faible granularité des co-variations articulatoires en fonction de la structure hiérarchique prosodique tient au fait que les niveaux prosodiques étudiés ne sont souvent pas validés par une analyse phonétique prosodique indépendante.

En effet, les catégorisations prosodiques reposent bien souvent sur une analyse textuelle de la syntaxe des phrases lues (McClellan 1973, Su et al. 1975, ou Hardcastle 1985) ou sur une inspection visuelle et auditive (une transcription) des contours mélodiques réalisés (Byrd et ses collègues, par exemple) ne permettant pas réellement d'évaluer et de contrôler si la hiérarchie prosodique analysée correspond bien à des niveaux catégoriels prosodiques statistiquement distingués dans la production des locuteurs.

Ainsi, même si l'on peut penser qu'il n'y a pas de raisons évidentes d'un marquage articulatoire systématique strictement parallèle et redondant de la structure prosodique à chacun des niveaux hiérarchiques, on peut tout de même envisager que celui-ci est cependant moins grossier qu'une séparation entre niveau intonatif supérieur et niveau syllabique ou lexical ; ce que les travaux de Fougeron (1998) sur la position initiale de constituant en français et ceux de Beckman et ses collègues sur les niveaux de prééminence en anglais permettent de concevoir.

## II

### ***La méthode***

Le corpus étudié dans cette thèse est extrait d'un enregistrement plus large destiné à étudier l'influence de la nature des groupes de consonnes, de la structure suprasegmentale (syllabique lexicale, accentuelle et intonative) et de la position syntagmatique de la frontière prosodique sur l'articulation et la coarticulation des segments composant une séquence VCCV. Ce corpus général compte quatre groupes de consonnes différents : /kl/, /kt/, /lk/ et /tk/, trois positions syntagmatiques de frontière, V#CCV, VC#CV et VCC#V, et huit contextes suprasegmentaux, à savoir 2 positions lexicales (interne et finale de mot lexical) et 6 positions accentuelles ou intonatives différentes, où V1 est toujours la voyelle accentuée de la séquence : 'VCCV. Seule une partie de ce corpus est traitée dans cette thèse, la suite étant vouée à un traitement post-doctoral.

Le corpus de la thèse concerne la séquence présentant une frontière inter-consonantique : 'VC#CV. Elle varie seulement en fonction du groupe de consonnes la composant (/kl/, /kt/, /lk/ et /tk/) et des huit contextes prosodiques dans lesquels apparaît la première syllabe 'VC. Seul l'accent final est analysé ici.

Nous nous intéressons dans cette étude au marquage articulatoire et co-articulatoire corrélatif à la présence d'une frontière finale de différents niveaux démarcatifs. Pour ce faire, nous avons constitué un corpus où la position de la séquence 'VC est fonction de sa place syntagmatique dans la structure sémantico-syntaxique marquée paradigmatiquement par différentes catégories prosodiques accentuelles et intonatives. Elles correspondent aux catégories accentuelles de Di Cristo (1999, 2000a) ou aux morphèmes intonatifs et accentuels de Rossi (1999).

Dans un premier temps, nous cherchons à savoir si les variations articulatoires sont plus ou moins sensibles à une catégorisation fine, détaillée des marqueurs prosodiques de l'énoncé, selon leur fonction linguistique et leur caractérisation phonétique. Ainsi, nous voulons évaluer si une représentation détaillée et riche de la structure prosodique d'un énoncé, reposant sur des catégories prosodiques très spécifiques fonctionnellement et phonétiquement est nécessaire, ou si, au contraire, une représentation plus grossière et moins riche, limitant le nombre de catégories prosodiques à des fonctions et des formes phonétiques élémentaires, suffit pour rendre compte des variations articulatoires qui accompagnent la structuration prosodique d'un énoncé.

Dans ce but, nous avons effectué deux regroupements catégoriels prosodiques différents : l'un fin et détaillé, que nous appellerons « *catégories ou catégorisation étroite(s)* », l'autre plus général et sous-détaillé, que nous appellerons « *catégories ou catégorisation large(s)* ».

La première catégorisation reprend pour l'essentiel les catégories prosodiques distinguées par Rossi (1999) dans son approche morphologique de l'intonation du français. Cette catégorisation étroite compte huit unités prosodiques.

La seconde catégorisation résulte d'un regroupement deux à deux des catégories étroites. Elle repose sur quatre catégories prosodiques et se rapproche plutôt des différents niveaux de constituance prosodique.

Dans cette partie, nous présentons la composition segmentale et prosodique du corpus analysé et le déroulement de son enregistrement, puis les caractéristiques suprasegmentales des catégories prosodiques retenues pour composer les deux hiérarchies articulatoires destinées à examiner les variations articulatoires concomitantes à la structure prosodique.

Ensuite, nous exposerons la méthode d'analyse articulatoire relative à l'articulation et la coarticulation linguopalatales des segments composant la séquence 'VC#CV étudiée.

Finalement, dans le dernier chapitre nous présentons la méthode d'analyse statistique élaborée pour étudier les variations articulatoires en fonction des deux hiérarchies prosodiques testées.

## Chapitre 1

### *Le corpus*

Le corpus étudié compte de 31 énoncés dans lesquels la séquence 'VC#CV observée varie de manière contrôlée en fonction de deux paramètres : la nature du groupe de consonnes et le contexte paradigmatique relatif aux catégories prosodiques attachées à la syllabe 'VC.

## 1

### *Composition segmentale du corpus*

Quatre groupes de consonnes différents composent la séquence 'VC#CV : /kl/, /kt/, /lk/ et /tk/. Nous avons choisi ces groupes parce qu'ils présentent une alternance entre une consonne linguopalatale postérieure et une consonne antérieure, dont l'articulation est relativement aisément observable au moyen de l'électropalatographie, tant dans sa dimension temporelle que spatiale.

Afin d'isoler les facteurs prosodiques pouvant influencer la coproduction dans les groupes de consonnes observés, trois facteurs essentiels de variabilité externes au champs exploratoire de cette étude ont été neutralisés : le contexte phonétique, le débit de parole et la position syntagmatique du groupe dans l'énoncé.

#### 1.1. La neutralisation du contexte phonotactique

Le contexte segmental directement contigu à droite et à gauche du groupe a été neutralisé en affectant symétriquement la voyelle /a/. Le choix de cette voyelle repose principalement sur le fait qu'elle est communément décrite comme étant la voyelle exerçant le moins d'influence sur l'articulation des segments contigus, du fait de son lieu d'articulation central et de son caractère non fermé.

Du point de vue électropalatographique, elle se caractérise par une quasi absence de contacts EPG, en dehors de quelques contacts latéraux postérieurs, garantissant une zone EPG de recouvrement minimale avec les consonnes étudiées. Cette articulation ouverte facilite également le repérage sur le signal EPG du début et de la fin des constriction linguopalatales consonantiques.

En outre, ce contexte a été choisi pour les possibilités d'occurrences en français des séquences /akla /, /alka/, /akta/ et /atka/ dans tous les contextes étudiés.

Nous avons tenté de neutraliser également le plus possible le contexte segmental précédant et suivant la séquence aCCa (tableau II.1.1).

**Tableau II.1.1** - Contextes segmentaux contigus pour chaque groupe de consonnes observé. *En exposant le nombre de phrases pour chaque contexte*

nombre de phrases	contexte segmental gauche	séquences observées	contexte segmental droit
7	at <sup>6</sup> / əs <sup>1</sup>	a k l a	ri <sup>4</sup> / re <sup>1</sup> / mi <sup>1</sup> / o <sup>1</sup>
8	et <sup>5</sup> / ed <sup>2</sup> / ef <sup>1</sup>	a l k a	me <sup>4</sup> / mi <sup>1</sup> / mu <sup>1</sup> / le <sup>1</sup> / sj <sup>3</sup>
8	at <sup>6</sup> / etr <sup>1</sup> / œs <sup>1</sup>	a k t a	tja <sup>3</sup> / ti <sup>1</sup> / i <sup>2</sup> / ki <sup>1</sup> / sj <sup>3</sup>
8	ed <sup>3</sup> / id <sup>2</sup> / əd <sup>1</sup> / ɔ̃d <sup>1</sup> / œk <sup>1</sup>	a t k a	me <sup>4</sup> / mi <sup>1</sup> / ta <sup>1</sup> / le <sup>1</sup> / tnwa <sup>1</sup>

Cela a plus ou moins été le cas compte tenu de la fréquence lexicale des mots comprenant les groupes observés, de leur possibilité de combinaison sémantico-syntaxique et de la nécessité de concevoir des



phrases ayant un sens plein, cohérent et facile d'accès, afin de garantir au mieux une lecture fluide et non analytique, après une courte période de familiarisation.

## 1.2. Un débit de parole contrôlé

Lors de l'enregistrement, un contrôle du débit a été effectué en demandant aux sujets de lire chaque phrase à une vitesse normale. Lorsqu'une phrase était produite avec un débit plus lent ou plus rapide à l'oreille de l'expérimentateur, la consigne leur était rappelée et la phrase réenregistrée immédiatement.

Afin également de réduire l'influence de la longueur des énoncés sur les variations de durée syllabique, nous avons invariablement limité les phrases à une longueur de 14 syllabes pleines.

**Tableau II.1.2** - Débit de lecture des items par locuteur, mesuré en syllabes (syl/s) et en phonèmes par seconde (pho/s)

	locC		locM		locY	
	syl/s	pho/s	syl/s	pho/s	syl/s	pho/s
nombre d'items	693		896		888	
moyenne	5,8	13	6	13,3	6,1	13,7
écart type	0,30	0,76	0,28	0,79	0,31	0,92
étendue	1,9	4,7	2,1	4,5	1,9	6,1

Une brève analyse du débit de lecture<sup>23</sup>, calculé en nombre de syllabes (syl/s) et de phonèmes (pho/s) produits à la seconde (tableau II.1.2), montre que la vitesse moyenne de lecture, tous locuteurs confondus, est d'environ 6 syl/s, soit 13 à 14 pho/s. Ce débit de lecture de phrases isolées est équivalent à celui de la lecture d'un texte.

En effet, dans son étude, Astésano (1999) rend compte d'un débit de 5,9 à 6,3 syl/s pour la lecture d'un texte d'environ 200 syllabes par deux locuteurs français.

**Tableau II.1.3** - Résultats statistiques des ANOVA (seuil de significativité :  $p = 0,05$ ) à un facteur<sup>24</sup> effectués sur le débit de lecture et écart moyen maximal (*écart*) entre deux catégories de la variable indépendante considérée

		locC		locM		locY	
		écart	valeur p/F	écart	valeur p/F	écart	valeur p/F
groupe de consonnes	syl/s	0,12	0,0147 F(3, 693)=3,529	0,16	< 0,0001 F(3, 896)=9,028	0,09	0,011 F(3, 888)=3,736
	pho/s	0,52	< 0,0001 F(3, 693)=11,128	0,67	< 0,0001 F(3, 896)=20,946	0,39	0,0017 F(3, 888)=5,107
catégorie prosodique	syl/s	0,36	< 0,0001 F(7, 693)=14,268	0,39	< 0,0001 F(7, 896)=19,721	0,58	< 0,0001 F(7, 888)=49,505
	pho/s	1,59	< 0,0001 F(7, 693)=36,594	1,13	< 0,0001 F(7, 896)=25,349	2,17	< 0,0001 F(7, 888)=82,381
répétition	syl/s	0,28	< 0,0001 F(11, 693)=6,120	0,51	< 0,0001 F(14, 896)=21,267	0,40	< 0,0001 F(14, 888)=10,776
	pho/s	0,56	< 0,0001 F(11, 693)=4,295	1,13	< 0,0001 F(14, 896)=11,287	0,93	< 0,0001 F(14, 888)=6,026

L'étendue de variation du débit dans notre corpus, calculée par la différence entre l'item lu le plus lentement et celui lu le plus rapidement (*étendue*, tableau II.1.2), nous indique que la différence maximale de débit est d'environ 2 syllabes et de 4,5 à 6 phonèmes. Cette variation peut sembler

<sup>23</sup> Réalisée sur le corpus général comptant 60 phrases au total et répétées 12 à 15 fois par trois locuteurs.

<sup>24</sup> Les variables indépendantes étant les *groupes de consonnes* : /kl/, /lk/, /kt/ et /tk/ ; les *catégories prosodiques* : TI, CI, CX, CM, CN, AC, MO et SY ; et le *numéro de répétition* : de 1 à 12 pour locC et de 1 à 15 pour locM et locY.

importante, mais une analyse plus détaillée relativise la variation du débit dans notre corpus (tableau II.1.3).

Pour tous les locuteurs, le débit est significativement affecté par le type de groupe de consonnes, la catégorie prosodique et les répétitions.

Néanmoins, l'écart moyen maximal, calculé comme l'écart entre la catégorie du facteur (« *groupe* », « *catégorie prosodique* » ou « *répétition* ») montrant le débit moyen le plus lent et la catégorie ayant le débit le plus rapide, n'excède guère la valeur d'une demi-syllabe et rarement celle de deux phonèmes.

S'agissant des interactions entre le facteur « *répétition* » et les autres, aucune n'est significative ( $p$  étant toujours supérieur à 0,99). Cela indique qu'il n'y a pas de relation de dépendance systématique du point de vue du débit de parole entre la production d'une catégorie prosodique ou d'un groupe de consonnes donné et leur ordre de répétition lors de l'enregistrement du corpus.

Ces résultats nous permettent de penser que nous n'avons pas affaire à différents paliers de débit de lecture, mais plutôt à un continuum s'étalant entre des marges relativement proches.

Cette plage de variation pourrait s'expliquer par différents autres facteurs non contrôlés, comme la nature des phonèmes composant les différentes phrases du corpus, certaines pouvant contenir plus de consonnes sourdes et/ou de voyelles ouvertes intrinsèquement plus longues, ou en fonction d'un nombre différent de syllabes accentuées ou de contours intonatifs allongeant selon les énoncés.

Cette brève analyse nous permet tout de même de penser que le débit de lecture intra- et interlocuteur de notre corpus est assez homogène.

### 1.3. La déclinaison articulatoire

La notion de déclinaison articulatoire est l'équivalent supraglottique de la déclinaison de la fréquence fondamentale et de l'amplitude acoustique, à savoir la diminution progressive de ces deux paramètres du début à la fin de phrase, due à la baisse de la pression subglottique au cours de la phrase. Sur la base d'investigations articulatoires des mouvements de la mandibule ou du voile, Vayra & Fowler (1992), Krakow (1993) et Krakow et al. (1994) développent l'idée d'un phénomène de déclinaison plus générale dans la production de la parole : une déclinaison de l'énergie affectant parallèlement les niveaux sub- et supraglottiques (Krakow 1993 : 102). Néanmoins des données récentes relatives à l'articulation linguopalatale ne confirment pas la généralité d'un tel phénomène.

Les études de Fougeron & Keating (1997) montrent que la structure prosodique joue un rôle important sur la magnitude des contacts linguopalataux et que les rapports entre cette structure et la déclinaison articulatoire ne peuvent pas être expliqués par une simple adjonction de l'influence de ces deux phénomènes sur l'articulation supraglottique.

Afin de nous préserver d'un tel effet articulatoire potentiel, nous avons contrôlé la position syntagmatique dans la phrase de la séquence 'VC#CV observée. La séquence cible a été placée invariablement en milieu d'énoncé, à savoir précisément en 8<sup>e</sup> et 9<sup>e</sup> position syllabique de chaque phrase comportant toujours 14 syllabes pleines.

## 2

### ***Composition prosodique du corpus***

Dans cette partie, nous détaillons, d'abord, la façon dont les contextes prosodiques observés ont été déterminés par la manipulation de la structure sémantico-syntaxique de l'énoncé et les contraintes spécifiques qui nous ont obligé à des choix particuliers.

Enfin, nous présentons chacune des deux catégorisations prosodiques choisies, étroite et large, pour appréhender les variations articulatoires en fonction de la structure prosodique organisée selon

différents niveaux hiérarchiques.

## 2.1. Manipulation de la structure sémantico-syntaxique

L'organisation sémantico-syntaxique des phrases a été contrôlée afin de favoriser des organisations prosodiques différentes. La séquence 'VC#CV est ainsi produite dans différents contextes prosodiques dont les marques suprasegmentales constituent les catégories prosodiques observées.

La structure prosodique de l'énoncé est donc exclusivement induite par la manipulation de la structure sémantico-syntaxique de l'énoncé, relative à l'organisation en thème/rhème et sujet-[prédicat(verbe-complément)].

Les énoncés produits étant des phrases lues isolément hors de tout contexte discursif, nous avons fait en sorte que la structure sémantico-pragmatique soit toujours syntaxiquement transparente.

Ainsi, les éléments thématiques extraposés (comme le sujet ou le complément du verbe) par topicalisation (thème pré-posé au rhème) ou par thématization externe (thème post-posé au rhème)<sup>25</sup> reposent toujours sur une extraction syntaxique, marquée par une pronominalisation clitique du syntagme extrait dans le rhème, et à l'écrit par une ponctuation explicite (une virgule) séparant le thème du rhème : du type « *Sa mère, il ne la voit plus, Pol.* ».

Ces structures syntaxiques simples devaient permettre une lecture relativement stéréotypée des phrases, capable de produire les structures prosodiques attendues.

## 2.2. Des contraintes spécifiques

Nous avons exclu de cette étude la prise en compte des phénomènes de pause. Bien que la pause constitue un paramètre important dans la caractérisation de certaines catégories prosodiques, comme les intonèmes majeurs, du fait qu'elle entraîne un délai articulatoire<sup>26</sup>, nous avons restreint notre analyse aux catégories prosodiques pour lesquelles l'absence de réalisation d'une pause finale ne constituait pas un élément perturbateur pour les sujets.

Lors de l'enregistrement du corpus, consigne a été explicitement donnée aux locuteurs de lire les phrases d'un seul trait (tenant), c'est-à-dire sans faire de pause. Certains intonèmes (ou frontières) se sont cependant montrés très difficiles à réaliser sans pause finale, donnant presque toujours lieu à des productions apparaissant comme très peu naturelles.

Ce fût spécifiquement le cas de l'intonation conclusive d'assertion qui n'était quasi jamais réalisée par un contour mélodique descendant en l'absence de pause. Cet intonème a donc été exclu de notre analyse. Il était cependant important que l'intonation conclusive soit représentée dans ce corpus, du fait de sa spécificité fonctionnelle.

Afin, d'obtenir cette catégorie prosodique, nous avons repropoé ce contexte aux sujets, mais en changeant la modalité de l'énoncé. Sur le mode interrogatif, caractérisé phonétiquement par une montée mélodique importante au lieu d'une chute (pour la question totale), l'intonation conclusive non suivie d'une pause n'a pas posé de véritable problème pour la réalisation du contour mélodique et n'a pas entraîné le sentiment d'une production non naturelle de la part des locuteurs.

Dès lors, seules les catégories prosodiques caractérisées par un contour mélodique montant font l'objet de cette étude.

Il est tout de même important de noter que les intonèmes conclusifs se distingueront des autres catégories prosodiques non seulement par leur caractère terminatif mais aussi par leur modalité différente : interrogative vs assertive.

<sup>25</sup> Selon la terminologie de Rossi (1999).

<sup>26</sup> Même si elle est bien souvent « remplie » articulatoirement par anticipation du positionnement des articulateurs pour la production du segment post-pausal (Fougeron 1998) : le geste pouvant être préparé pendant la pause.

## 2.3. Présentation des différentes catégories prosodiques observées

L'analyse des variations articulatoires et coarticulatoires en fonction de la structure prosodique repose sur deux arrangements distincts des catégories prosodiques observées. Le premier relève d'une catégorisation étroite des marqueurs prosodiques et l'autre d'une catégorisation large, reposant sur le regroupement deux à deux des catégories étroites.

Ces deux catégorisations répondent, d'une part, à une typologie prosodique fonctionnelle, et, d'autre part, à une typologie formelle.

### 2.3.1. Typologie fonctionnelle des catégories prosodiques larges et étroites

Les catégories prosodiques étroites choisies pour constituer ce niveau d'analyse prosodique reprennent pour la plupart celles distinguées dans les typologies accentuelles et intonatives dans l'approche morphologique de l'intonation du français de Rossi (1999) ou dans le modèle phonologique de Di Cristo (1999, 2000a) ou Hirst & Di Cristo (1997).

Dans la conception morphologique de Rossi (1999), les primitives sont des catégories prosodiques à deux faces, très proches de la conception saussurienne de signe linguistique. D'un côté, « *les morphèmes prosodiques ont un contenu déterminé soit par la syntaxe des constituants (frontières intonatives), soit par le module sémantique qui inclut le contenu pragmatique étranger à la syntaxe et à la 'grammaire lexicale', soit par le lexique [accent lexical]* » (Rossi 1999 : 50-51). De l'autre, les prosodèmes renvoient à « *la forme de l'expression [...] représentée [...] par un ensemble de traits distinctifs [...] prosodiques [qui] se manifestent [...] dans un espace empirique de dimension 3 : temps, fréquence fondamentale, intensité* » (Rossi 1999 : 47).

Ces deux faces du signe prosodique sont indissociables et correspondent respectivement à sa fonction (morphème prosodique) et à sa forme (prosodème) : « *les plans de l'expression et du contenu sont indissociablement liés* » (Rossi 1999 : 33). Une catégorie prosodique correspond donc dans cette approche à une catégorie formelle et fonctionnelle.

La catégorisation prosodique large est également basée sur une distribution fonctionnelle des marqueurs prosodiques selon leur fonction lexicale, rythmique ou pragmatico-syntaxique qui répondent aux distinctions entre phénomènes non suprasegmentaux, accentuels et intonatifs.

Les catégories prosodiques larges sont composées chacune de deux catégories étroites renvoyant à des fonctions prosodiques plus spécifiques dans l'énoncé.

#### 2.3.1.a. Les deux catégories non prosodiques

Les deux catégories étiquetées SY et MO dans la catégorisation prosodique étroite ne sont pas à proprement parler des catégories prosodiques. Elles ne sont pas marquées spécifiquement et distinctivement entre elles par les paramètres suprasegmentaux, comme l'allongement, la hauteur tonale ou le glissando mélodique. La distinction entre ces deux catégories repose principalement sur un critère lexical : l'absence ou la présence d'une frontière de mot inter-consonantique dans la séquence VCCV.

Ces deux catégories étroites ont été choisies afin d'observer si une frontière lexicale et la virtualité accentuelle de la syllabe finale de mot pouvaient s'accompagner d'un marquage articulatoire régulier.

Les deux exemples suivants tirés du corpus illustrent ces catégories<sup>27</sup> : SY

SY : Ma solde est maigre après défalcation des frais de route. (figure II.1.1)

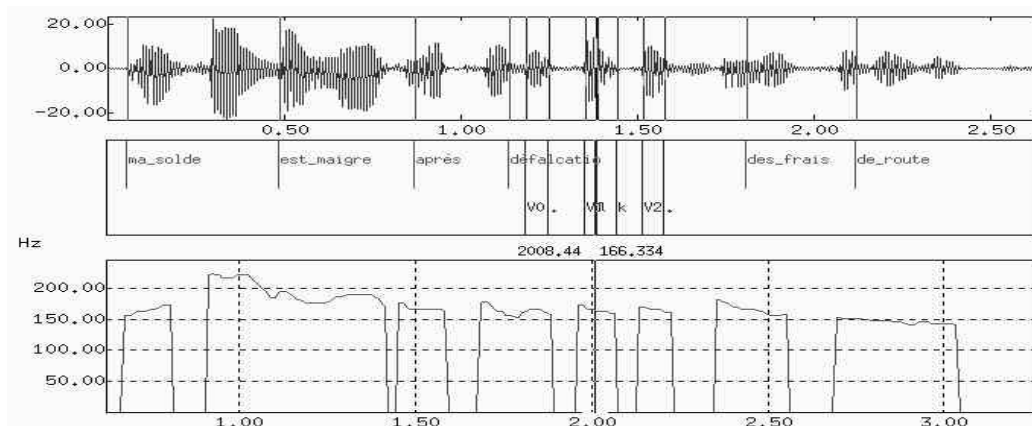
MO : Ma grand-mère utilise un sac Tati pour faire ses courses. (figure II.1.2)

Elles se distinguent de toutes les autres catégories prosodiques par leur caractère inaccentué. Syllabe interne de mot lexical (SY) et finale de mot lexical (MO) sont donc regroupées dans la même catégorie prosodique large des syllabes inaccentuées : INA.

Il est théoriquement possible d'envisager de donner un statut prosodique distinctif à ces deux

<sup>27</sup> La séquence cible VCCV est soulignée.

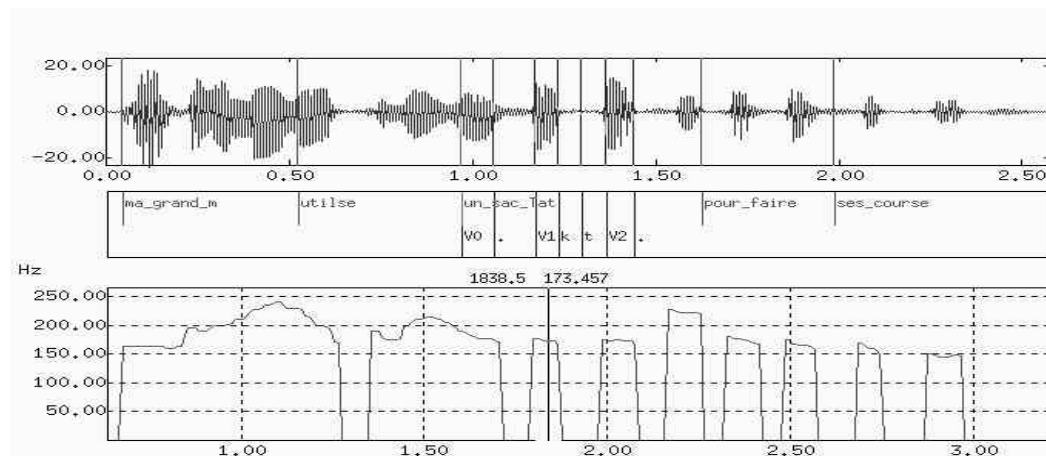
catégories.



**Figure II.1.1** – Réalisation par locC de l'énoncé « *Ma solde est maigre après défalcation des frais de route.* », illustrant le contexte SY où V1 est inaccentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)

A l'instar de Di Cristo (1999, 2000a), on peut considérer le mot lexical comme l'unité minimale d'accentuation en français. Celui-ci est doté virtuellement d'un accent initial et final.

C'est sur cette propriété accentuelle potentielle que pourrait reposer une distinction prosodique entre SY et MO, à savoir entre syllabe médiane de mot non accentogène et syllabe finale de mot accentogène, reprenant également la distinction de Rossi (1979, 1985, 1999).



**Figure II.1.2** – Réalisation par locC de l'énoncé : « *Ma grand-mère utilise un sac Tati pour faire ses courses.* », illustrant le contexte MO où V1 est inaccentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)

### 2.3.1.b. Les deux catégories prosodiques accentuelles

Deux catégories accentuelles ici distinguées : accent final de mot et accent final de syntagme, respectivement étiquetées AM et AS dans la catégorisation étroite. Celles-ci sont regroupées dans la catégorisation large des accents (ACC).

Ces deux catégories étroites répondent respectivement à la fonction phonologique de régulation rythmique de l'énoncé et de démarcation prosodique finale des syntagmes inférieurs de l'énoncé.

En effet, les principaux regroupements opérés par l'intonation peuvent donner lieu à des séquences longues. Celles-ci sont rarement informes prosodiquement et favorisent l'émergence d'accents rythmiques permettant des séquences de syllabes moins longues. Le groupe intonatif constitue le domaine d'application de la catégorie prosodique large des accents rythmiques et démarcatifs finaux (ACC). Ils ont principalement une fonction d'appui rythmique et de segmentation secondaire de la chaîne phonique, d'abord délimitée en constituants prosodiques majeurs par l'intonation.

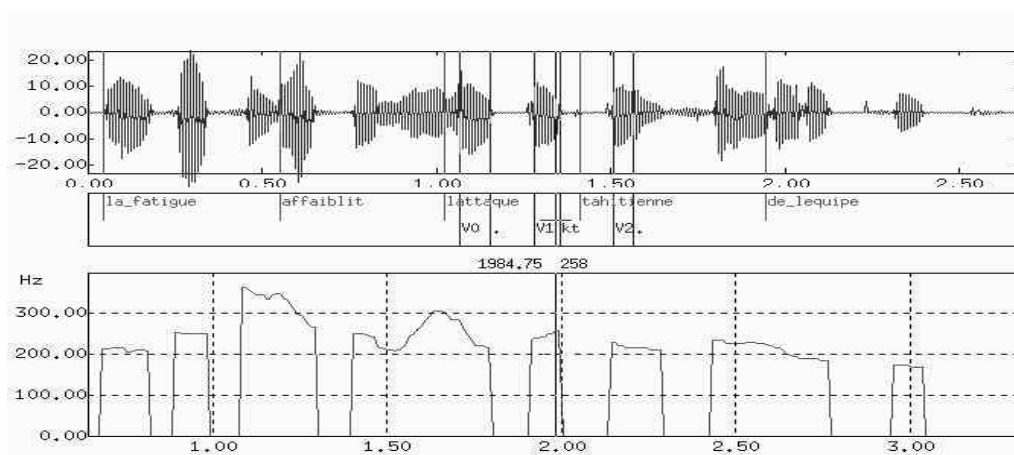
La fonction première de l'accent rythmique n'est pas proprement démarcative, même s'il participe à la délimitation des unités lexicales (AM). Cette fonction est celle de l'accent final délimitant des syntagmes phonologiques ou sémantico-syntaxiques inférieurs (AS), à l'intérieur des constituants pragmatico-syntaxiques principaux de l'énoncé, marqués par une intonation majeure. Ces accents ont ainsi soit une fonction première rythmique (AM), soit de démarcation des unités phonologiques inférieures (AS).

Nous distinguons ainsi deux types de catégories accentuelles : les accents finals de mot et internes de syntagme (AM) et les accents finals de mot et de syntagme (AS). Les regroupements prosodiques délimités par AS constituent les groupes accentuels.

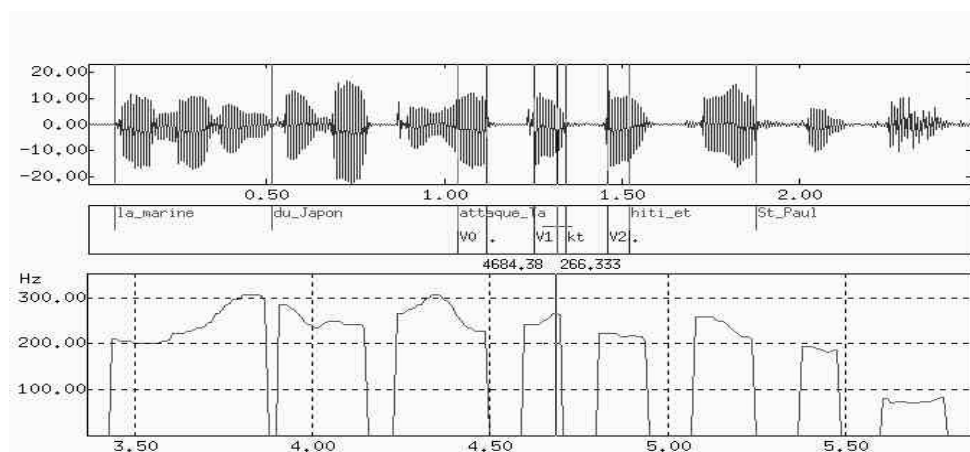
Les deux exemples suivants tirés du corpus illustrent ces catégories<sup>28</sup> :

AM : La fatigue affaiblit l'attaque tahitienne de l'équipe. (figure II.1.3)

AS : La marine du Japon attaque Tahiti et St Paul. (figure II.1.4)



**Figure II.1.3** – Réalisation par locM de l'énoncé : « La fatigue affaiblit l'attaque tahitienne de l'équipe. », illustrant le contexte AM où V1 est accentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)



**Figure II.1.4** – Réalisation par locM de l'énoncé : « La marine du Japon attaque Tahiti et Saint-Paul. », illustrant le contexte AS où V1 est accentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)

Cette distinction entre ces deux types d'accent peut être appuyée par différents points soulignés dans différentes approches de l'accentuation du français.

Dans le modèle accentuel de Di Cristo (1999, 2000), est proposé une distinction formelle et fonctionnelle entre un accent rythmique final de mot (correspondant à notre AM) et un accent final de

<sup>28</sup> En gras, la syllabe accentuée de la séquence 'VC#CV observée.

mot et de constituant prosodique mineur appelé « *mot prosodique* » (correspondant à notre AS).

Ce dernier serait marqué par des propriétés suprasegmentales tenant à l'allongement typique des phénomènes de frontière et à une montée mélodique caractéristique des phénomènes accentuels. A contrario, AM serait dépourvu d'allongement (autre que celui conditionné physiologiquement par la réalisation du mouvement mélodique de l'accent). AS est une catégorie accentuelle propre à marquer la fin de syntagme phonologique coextensif au syntagme syntaxique du groupe nominal constitué autour d'une tête lexicale. A l'inverse, AM n'est pas constitutif du mot prosodique et ne peut apparaître qu'en position non finale de syntagme, c'est-à-dire interne de mot prosodique.

Cette différenciation apparaît également chez Rossi (1999 : 181-182) qui distingue deux types d'accents, actualisant l'accent lexical sous-jacent : l'un dit « *non abaissé* » et l'autre « *abaissé* ».

Globalement, les accents non abaissés dérivent de morphèmes intonatifs réduits qui marquent des constituants syntaxiques de bas niveau. Au-delà d'un certain degré de complexité syntaxique, en terme d'enchâssement des constituants syntaxiques, l'intonation, limitée en niveaux de frontière qu'elle peut exprimer, ne démarque plus les syntagmes mineurs. A ce point, l'accent final de syntagme se substitue à la frontière intonative sous-jacente, normalement exprimée, par exemple, par l'intonème de continuation mineure. Cet accent non abaissé correspond à notre AS. Il s'accompagne d'un allongement significatif.

Lorsque l'accent ne dérive pas de l'abaissement d'une frontière intonative sous-jacente, il est réalisé sous une forme réduite dite « *abaissée* ». Il correspond à notre AM. Ce type d'accent rythmique apparaît spécifiquement à l'intérieur de syntagmes nominaux et non en finale (domaine de notre AS) : par exemple, en finale d'un adjectif antéposé à un nom ou en finale d'un nom suivi d'un adjectif.

Cette distinction est également présente dans les approches classiques (Delattre 1966) ou intono-syntaxiques (Martin 1979, 1981a, 1982 ; Di Cristo 1981). Dans ces descriptions, la catégorie AS correspond à l'intonation de continuation mineure marquant notamment dans le syntagme verbal la délimitation entre le verbe et le complément nominal (Di Cristo 1981c). Cette catégorie apparaît dans ce cas comme un fait intonatif (cf. également le « *groupe accentuel* » chez Jun & Fougeron 1995, 2000).

Nous considérons donc une catégorie prosodique large nommée « *accent* » (ACC) qui regroupe deux types d'accent issus de la catégorisation prosodique étroite : accent rythmique final de mot lexical interne et non démarcatif de syntagme, AM, et l'accent final de mot lexical et démarcatif de syntagme, AS ; même si que pour tous deux des aspects tant rythmiques que démarcatifs peuvent être invoqués.

### **2.3.1.c. Les quatre catégories prosodiques intonatives**

Les quatre dernières catégories prosodiques étroites considérées dans cette étude relèvent toutes du niveau intonatif. Elles sont relatives aux morphèmes intonatifs chez Rossi et aux tons de frontière bornant l'« *Unité Intonative* » de Hirst et Di Cristo (1984), le « *Groupe Intonatif* » de Mertens (1987, 1993) ou de l'« *Intonational Phrase* » de Jun & Fougeron (1995, 2000).

Au niveau de la catégorisation prosodique étroite, elles correspondent aux intonèmes suivants : l'intonème continuatif majeur, étiqueté CM, l'intonème continuatif de topique, CT, l'intonème conclusif mineur (interrogatif), TN, et enfin l'intonème conclusif majeur (interrogatif), TM. Les deux premières composent la catégorie prosodique large des intonations continuatives, ICT, et les deux dernières celle des intonations conclusives, ICC.

Les exemples suivants tirés du corpus illustrent ces quatre catégories :

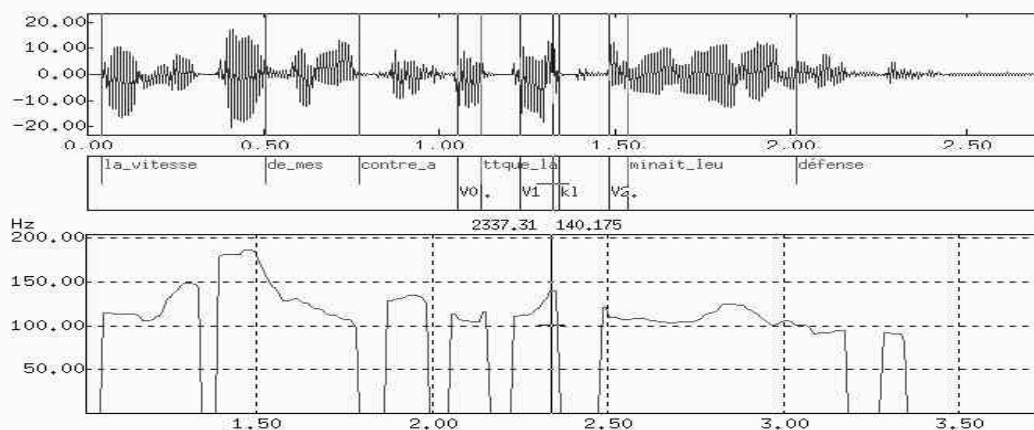
ICT / CM : *La vitesse de mes contre-attaque laminait leur défense.* (figure II.1.5)

ICT / CT : *La réponse de la candidate, Camélia la connaît.* (figure II.1.6)

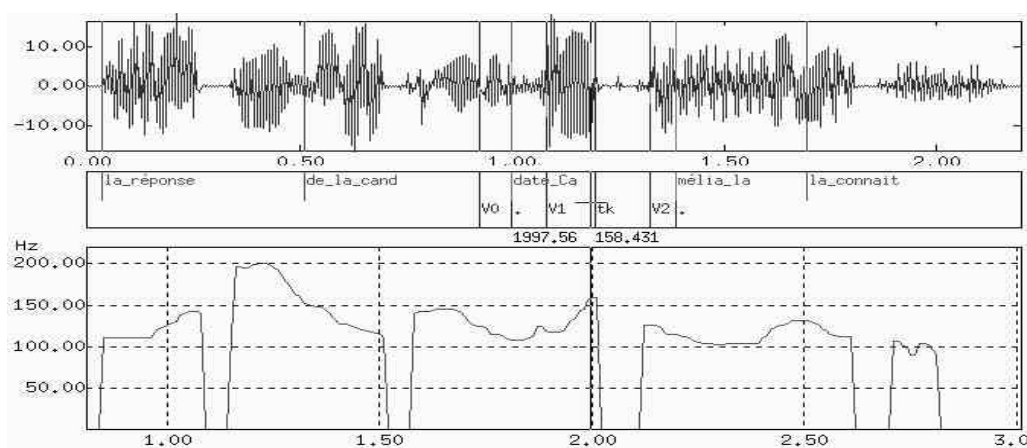
ICC / TN : *A la gare, elle la vue l'attaque Larissa, ce matin ?* (figure II.1.7)

ICC / TM : *Ma belle-mère a trouvé l'étal ? Camélia le cherchait.* (figure II.1.8)

La distinction entre les deux catégories larges repose sur la valeur de complétude des conclusives et d'incomplétude des continuatives. En d'autres termes, seules les intonations conclusives peuvent marquer la syllabe finale d'un énoncé, les continuatives ne pouvant être qu'internes.



**Figure II.1.5** – Réalisation par locY de l'énoncé : « *La vitesse de mes contre-attaque laminait leur défense.* », illustrant le contexte CM où V1 est accentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)



**Figure II.1.6** – Réalisation par locY de l'énoncé : « *La réponse de la candidate, Camélia la connaît.* », illustrant le contexte CT où V1 est accentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)

Outre cette distinction fondamentale, ces quatre catégories prosodiques étroites remplissent deux fonctions principales : l'une démarcative et l'autre hiérarchique des constituants de l'énoncé. Etant des marques de frontière, elles délimitent les constituants pragmatiques ou syntaxiques principaux de l'énoncé. Etant également des prééminences déterminées distinctivement par les traits prosodiques (allongement, hauteur tonale...), elles permettent l'identification de ces constituants et leur mise en perspective selon la structure énonciative thématique-rhématique et la structure syntaxique en constituants principaux de la phrase.

Ainsi, CT et TN sont des marques intonatives de constituants thématiques détachés par dislocation syntaxique (portions non italiques dans les phrases CM et TN ci-dessus). Ces catégories sont en distribution complémentaire : CT marque un thème antéposé au rhème et TN un thème post-posé.

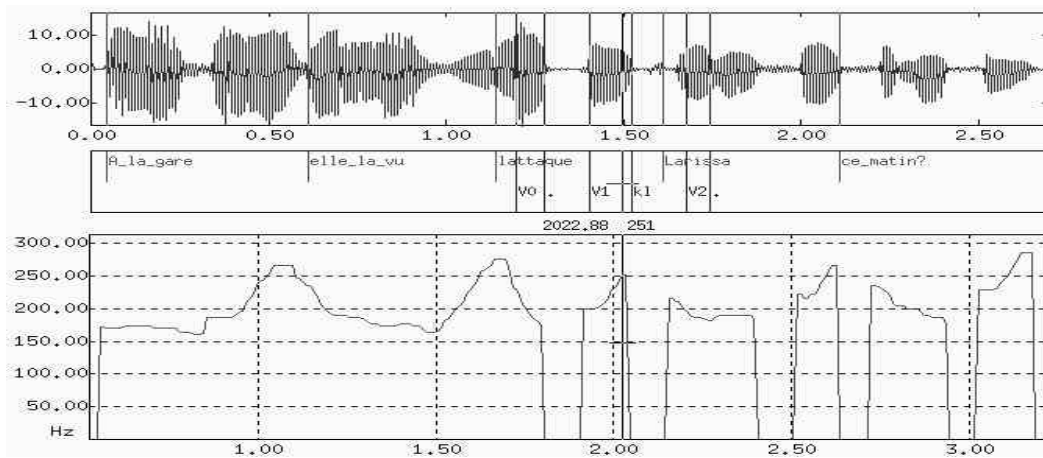
L'intonème conclusif majeur (ici interrogatif), TM, est un marqueur prosodique de la structure pragmatique et syntaxique. Il identifie le constituant rhématique, élément central du message (portions en italique dans les énoncés ci-dessus), et constitue la marque privilégiée du syntagme prédicatif et celle de la phrase.

L'intonème de continuation majeur, CM, est quant à lui généralement la marque du syntagme syntaxique nominal sujet et délimite les constituants immédiats syntaxiques non énonciativement thématifiés.

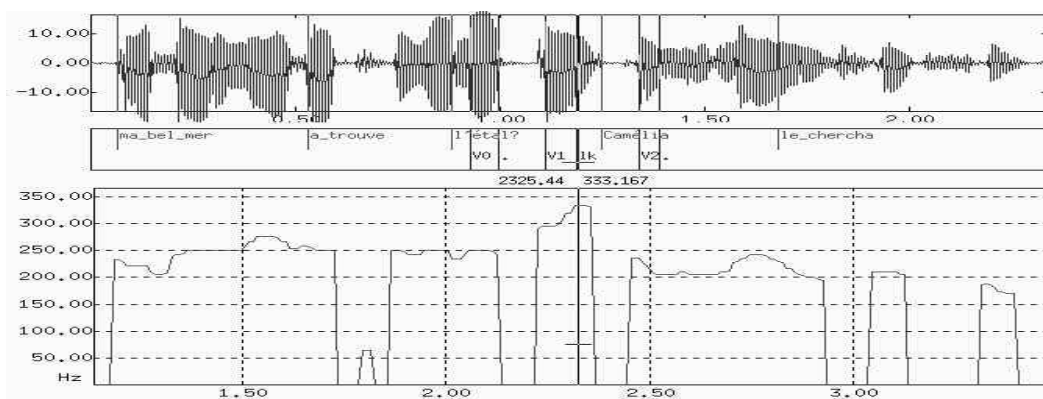
Pour résumer, la catégorisation prosodique large compte quatre éléments regroupant deux à deux les huit catégories étroites selon leur caractère prosodique inaccentué, accentué, intonatif continuatif et intonatif conclusif : INA[ SY + MO ], ACC[ AM + AS ], ICT[ CM + CT ] et ICC[ TN +



TM ]. Ces deux catégorisations correspondent à des fonctions linguistiques différentes relatives à la structuration prosodique de l'énoncé dans la parole.



**Figure II.1.7** – Réalisation par locC de l'énoncé : « A la gare, elle la vue l'attaque, Larissa, ce matin ? », illustrant le contexte TN où V1 est accentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)



**Figure II.1.8** – Réalisation par locM de l'énoncé : « Ma belle-mère a trouvé l'étal? Camélia le cherchait. », illustrant le contexte TM où V1 est accentuée (curseur sur la courbe de F0, en bas)

### 2.3.2. Les énoncés du corpus

Le tableau II.1.4 fournit la liste des énoncés constituant le corpus de chaque groupe de consonnes répondant à chacune des quatre catégories prosodiques larges et des huit catégories étroites. Le groupe /kl/ ne présente pas de contexte SY. S'agissant d'un groupe homosyllabique, il ne présente pas de frontière syllabique inter-consonantique en interne de mot.

### 2.3.3. Typologie formelle des catégories prosodiques larges et étroites

La typologie formelle des catégories prosodiques repose sur leur paramétrage phonétique distinctif en fonction des traits suprasegmentaux non binaires.

Ces traits sont relatifs à l'allongement syllabique ou vocalique, au niveau mélodique atteint par le contour, à son sens (montant ou descendant), à l'amplitude du glissando mélodique vocalique, au niveau d'intensité acoustique et à la pause. Les catégories prosodiques relèvent donc dans leur forme de propriétés multi-paramétriques.

La détermination formelle des catégories prosodiques larges et étroites repose principalement sur les travaux récents relatifs à la typologie accentuelle du français de Di Cristo & Hirst (1997) et Di Cristo (1999, 2000a), et surtout à la typologie morphologique de Rossi (1999).

**Tableau II.1.4** – Énoncés relatifs aux séquences 'ak#la, 'ak#ta, 'al#ka et 'at#ka (en gras) selon les différents contextes prosodiques : catégories larges et étroites

catégories larges	catégories étroites	énoncé
<b>ak#la</b>		
ICC	TM	Ma belle-sœur a eu une <b>attaque</b> ? Larissa le sait pas.
	TN	A la gare, elle l'a vue, l' <b>attaque</b> , Larissa, ce matin ?
ICT	CT	La vitesse de mes contre- <b>attaques</b> , Larissa l'apprécie.
	CM	La vitesse de mes contre- <b>attaques</b> <b>lamin</b> aient leur défense.
ACC	AS	La marine du Japon <b>attaque la</b> Rhénanie du Nord.
	AM	La fatigue affaiblit l' <b>attaque</b> <b>laotienne</b> de l'équipe.
INA	MO	La lycéenne chinoise, que <b>saque</b> Larry, s'est effondrée.
<b>ak#ta</b>		
ICC	TM	Ma grand-mère a eu une <b>attaque</b> ? Tatiana le sait pas.
	TN	A la banque, elle l'a vue, l' <b>attaque</b> , Tatiana, ce matin ?
ICT	CT	Ma mauvaise foi et mes <b>attaques</b> , Tatiana les méprise.
	CM	Ma dérision et mes <b>attaques</b> <b>taquinaient</b> son ego.
ACC	AS	La marine du Japon <b>attaque</b> <b>Tahiti</b> et Saint Paul.
	AM	La fatigue affaiblit l' <b>attaque</b> <b>tahitienne</b> de l'équipe.
INA	MO	Ma grand-mère utilise un <b>sac</b> Tati pour faire ses courses.
	SY	La grève s'arrête après des <b>tractations</b> de plusieurs jours.
<b>al#ka</b>		
ICC	TM	Ma belle-mère a trouvé l'étal ? Camélia le cherchait.
	TN	A la fin, elle l'a vu, l'étal, Camélia, ce matin ?
ICT	CT	La glycine grimpante et ces <b>dalles</b> , Camélia les adore.
	CM	La glycine grimpante et ces <b>dalles</b> <b>camoufleront</b> ce mur.
ACC	AS	La merveilleuse nounou <b>étale</b> Camélia sur le lit.
	AM	Ma mère a retrouvé l'étal <b>calédonien</b> de Jean.
INA	MO	La pâte à chou pas chère, qu' <b>étale</b> Camille, est délicieuse.
	SY	Ma solde est maigre après <b>défalcation</b> des frais de route.
<b>at#ka</b>		
ICC	TM	Ma mère a apporté des <b>dattes</b> ? Camélia adore ça.
	TN	A force, elle les adorent, les <b>dattes</b> , Camélia, maintenant ?
ICT	CT	La réponse de la candidate, Camélia la connaît.
	CM	La réponse de la candidate <b>catastrophe</b> le jury.
ACC	AS	La direction centrale <b>mandate</b> Camélia pour deux ans.
	AM	Ma cousine est friande des <b>dattes</b> <b>calédoniennes</b> d'ici.
INA	MO	La statue d'Apollon, que <b>date</b> Camille, est magnifique.
	SY	Ma belle-sœur a gagné deux <b>quatre-quatre</b> noirs et une moto.

Les deux premières catégories non prosodiques (INA : SY+MO) sont des syllabes inaccentuées. Elles ne présentent donc pas de proéminence et constituent le point de repère pour la caractérisation suprasegmentale des autres catégories. On pourrait considérer que les syllabes inaccentuées n'ont pas de propriétés suprasegmentales propres mais s'adaptent au contexte prosodique.

Ainsi, par exemple Padeloup (1990) note que les syllabes inaccentuées tendent à s'allonger, plus elles se rapprochent de la syllabe accentuée finale de groupe intonatif. Vincent et al. (1995) rapportent que l'allongement de la syllabe inaccentuée précédant la syllabe finale d'unité intonative est distinctivement plus importante dans une unité conclusive que continuative. L'identification perceptive hors contexte de ces deux marques intonatives repose principalement sur cet indice relatif à la syllabe pré-tonique inaccentuée et non sur le degré d'allongement de la syllabe finale ou sur la durée de la pause subséquente. On peut également noter que du point de vue mélodique une syllabe précédant une

syllabe porteuse d'un contour ample peut montrer une hauteur tonale relativement importante.

Les deux catégories supérieures (ACC : AM+AS) se distinguent des autres par leur caractère accentué, mais plus réduit, quant à leur forme phonétique, comparé à celui des catégories intonatives.

Comme on l'a vu, sur le plan formel, Di Cristo distingue ces deux types d'accents par le caractère allongé de AS face à AM non allongé. Pour Di Cristo, cet allongement est un trait des catégories de frontière dont AS est l'expression la plus faible : il est la marque des regroupements inférieurs internes aux unités intonatives : les mots prosodiques.

AM n'est pas marqué par un allongement, n'apparaissant qu'en interne de mot prosodique et n'ayant pas de fonction démarcative de syntagme. Ces catégories sont également caractérisées par une montée mélodique qui constitue le trait spécifique de l'accent pour Di Cristo.

Le point de vue de Rossi est similaire sur cette distinction, mis à part qu'il considère l'allongement comme le paramètre principal de réalisation de ces deux accents et la montée mélodique comme un trait facultatif (Rossi 1999 : 181). Cet auteur définit formellement ces deux types d'accent de la façon suivante :

AS : allongement faible ; mélodie montante facultative atteignant une hauteur tonale infra-médium ; pouvant s'accompagner d'une amplitude acoustique renforcée

AM : idem mais à un degré moindre pour chacun des paramètres.

Les deux dernières catégories prosodiques larges observées (ICT : CM+CT et ICC : TN+TM) se distinguent des catégories accentuelles par le caractère renforcé des traits suprasegmentaux qui les déterminent, tenant au fait qu'elles marquent des frontières intonatives de regroupements syntaxiques ou pragmatiques majeurs.

Le trait d'allongement est une caractéristique cruciale de ces catégories. Ce trait les différencie nettement des catégories inaccentuées et accentuées. Les intonations étant des marques de frontière majeure, l'allongement de la syllabe finale est bien plus important que celui d'une syllabe finale de regroupement accentuel (AS).

D'un point de vue qualitatif, Astésano (1999) montre que l'allongement final de groupe intonatif repose spécifiquement sur celui de la rime syllabique, alors que l'allongement accentuel concerne tous les constituants de la syllabe pour les accents finaux de syntagme ou spécifiquement l'attaque (vocalique ou consonantique) de la syllabe pour les accents initiaux.

Si ce trait essentiel différencie les intonations des accents, il ne paraît pas distinguer les intonations conclusives des continuatives, comme le postule Crompton (1980) dont les résultats n'ont que partiellement (du fait de variations inter-individuelles importantes) été confirmés par Fletcher (1991). Vincent et al. (1995) confirment cette absence de différence d'allongement final entre intonation conclusive et continuative, et Astésano (1999) également dans trois styles de parole (lecture, journal radiophonique et interview).

Concernant la catégorie continuative, selon Rossi, l'intonation de topique, CT, est l'intonème continuatif le plus élevé qui domine par tous ces traits suprasegmentaux l'intonème continuation majeure CM. CM partage donc ses caractéristiques acoustiques avec CT, mais selon une amplitude plus réduite. Ces deux catégories prosodiques étroites se définissent formellement de la façon suivante selon Rossi (1999 : 66-67) :

CM<sup>29</sup> : allongement important qui ne crée pas de pause subjective ; mélodie montante dans le niveau médium/infra-aigu ; glissando vocalique facultatif ; pouvant s'accompagner d'un pic d'intensité ; non suivi d'une pause

CT : allongement très important créant une pause subjective ; mélodie montante dans le niveau infra-aigu/aigu ; glissando vocalique important ; accompagné d'un pic d'intensité (sonie) ; suivi facultativement d'une pause.

Rappelons que les catégories conclusives de cette étude se rapportent à la modalité interrogative. Elles

---

<sup>29</sup> Cf. également Di Cristo (1981c).

concernent les catégories étroites d'intonation conclusive majeure (TM) et mineure (TN).

Alors que TM, marqueur spécifique du rhème, est un morphème intonatif à forme pleine, TN, marqueur de thème post-posé, n'a pas de forme phonétique propre. Il reproduit sur un mode mineur l'intonème qui le précède. Il présentera donc un allongement, une hauteur tonale, un glissando mélodique et une intensité réduits par rapport à l'intonème majeur le précédant.

De la même façon, pour Di Cristo (1998), un thème post-posé n'a pas d'autonomie intonative, dépendant sémantico-pragmatiquement de l'unité intonative majeure précédente. Il ne peut constituer à lui seul une unité intonative et ne forme donc qu'un segment intonatif rattaché à l'unité intonative « mère », constituée par le constituant rhématique précédent, auquel il emprunte ses caractéristiques suprasegmentales selon un mode mineur.

Quant à TM (interrogatif), il partage globalement les mêmes traits que CT.

Les propriétés prosodiques, empruntées à Rossi (1999 : 86-88), de ces deux dernières catégories étroites sont les suivantes :

TM : allongement très important qui crée une pause subjective ; mélodie montante dans le niveau infra-aigu/aigu ; glissando vocalique important ; pouvant s'accompagner d'un pic d'intensité ; suivi d'une pause facultative

TN : allongement moyen ne créant pas de pause subjective ; mélodie montante dans le niveau médium ; glissando vocalique moyen ; suivi facultativement d'une pause.

Le tableau II.1.5 récapitule les traits suprasegmentaux déterminant chacune des catégories prosodiques, larges et étroites, considérées dans cette étude.

**Tableau II.1.5** – Propriétés formelles des catégories prosodiques (adapté de Rossi 1999). *Ce tableau n'a qu'une valeur informative. « n. sp. » pour « non spécifié » et « fac. » pour « facultative »*

catégories prosodiques larges	catégories prosodiques étroites	modalité	Propriétés prosodiques formelles			
			Allongement	Hauteur tonale	Glissando vocalique	Pause finale
syllabe inaccentuée (INA)	syllabe interne de mot inaccentuée (SY)	assertive	n. sp.	n. sp.	n. sp.	non
	syllabe finale de mot inaccentué (MO)	assertive	n. sp.	n. sp.	n. sp.	non
accent (ACC)	accent rythmique final de mot (AM)	assertive	(néant)	infra-médium	aucun	non
	accent final de syntagme (AS)	assertive	faible	infra-médium	aucun	non
intonème continuatif (ICT)	intonation de continuation majeure (CM)	assertive	important	médium / infra-aigu	fac.	non
	intonation continuative de topique (CT)	assertive	très important	infra-aigu / aigu	important	fac.
intonème conclusif (ICC)	intonation de conclusion mineure (TN)	interrogative	moyen	médium	moyen	fac.
	intonation de conclusion majeure (TM)	interrogative	très important	infra-aigu / aigu	important	fac.

### 3

#### *L'acquisition des données*

##### 3.1. Les sujets

Le corpus a été enregistré par trois locuteurs français natifs n'ayant pas d'accent régional marqué. Deux d'entre eux travaillent dans le domaine de la phonétique depuis un certain nombre d'années, alors que le dernier n'a aucune expérience en linguistique.

Les locuteurs C (locC) et M (locM) sont deux femmes d'une trentaine d'années. La première est docteur en Phonétique et parisienne d'origine. La seconde n'est pas linguiste et vit dans la région méridionale. Le locuteur Y (locY) est un homme également d'une trentaine d'année, doctorant en Phonétique et vivant dans la région méridionale. Il se trouve être aussi l'auteur de ces lignes.

### 3.2. L'enregistrement

Chaque phrase du corpus<sup>30</sup> a été enregistrée par les locuteurs équipés d'un micro-casque et d'un palais électropalatographique dans une chambre sourde. L'enregistrement a été effectué en deux ou trois séances d'environ 3 heures, avec une pause en milieu de chacune d'elles et réparties dans la même semaine.

Une période d'adaptation au palais électropalatographique d'une demi-heure environ précédait chaque séance. Pendant cette période le sujet, palais en bouche, discutait avec l'expérimentateur, puis lisait une à deux fois la liste des phrases du corpus. Cette phase était nécessaire pour habituer le sujet au palais artificiel. On estimait que le palais était toléré par le sujet, lorsque le zéziement initial avait disparu à l'oreille de l'expérimentateur, que la salivation abondante occasionnée par l'insertion de ce corps étranger dans la bouche redevenue normale et que le sujet ne sentait plus de réelle gêne lors de sa prononciation. Cette étape était également importante pour que le sujet se familiarise avec les phrases du corpus.

La tâche des sujets consistait simplement à lire chaque phrase avec un débit normal. Il était explicitement demandé au sujet de ne pas faire de pause durant leur lecture. Cette contrainte n'a pas été ressentie comme artificielle par les sujets.

L'acquisition des items a été effectuée phrase par phrase. Le sujet avait devant lui la liste des 60 phrases numérotées du corpus général et devait lire à haute voix la phrase dont le numéro était donné par l'expérimentateur dans un ordre aléatoire.

Chaque phrase était lue deux fois à chaque sollicitation : seule la deuxième lecture était enregistrée. La première permettait au sujet d'éviter tout accrochage ou hésitation lors de la seconde lecture, souvent dû à la ressemblance de certaines phrases. Chaque phrase a ainsi été enregistrée par chaque locuteur dans un ordre aléatoire différent pour chacune des 12 (pour locC) à 15 (pour locM et locY) répétitions de la liste.

Dans les cas d'une réalisation présentant une hésitation, une erreur segmentale ou prosodique (si l'intonation interrogative n'était pas réalisée ou si une pause était produite), ou d'un problème technique pendant l'acquisition, l'item était immédiatement réenregistré.

### 3.3. Le corpus en quelques chiffres

En résumé, le corpus de cette thèse se compose, après enregistrement, de :

3 locuteurs : locC, locM et locY ;

4 groupes de consonnes : /kl/, /lk/, /kt/ et /tk/ ;

31 phrases lues : 7 pour /kl/ et 8 pour /lk/, /kt/ et /tk/ ;

12 répétitions par phrase pour locC (372 items) ;

15 répétitions par phrase pour locM et locY (465 items par locuteur) ;

soit un total de 1302 items.

---

<sup>30</sup> Du corpus général et pas seulement de la partie concernée dans cette thèse.

## Chapitre 2

### *Distinctions phonétiques des catégories prosodiques*

#### 1

##### *La méthode d'analyse prosodique*

L'analyse acoustique des items, numérisés à une fréquence d'échantillonnage de 16 kHz, a été réalisée à l'aide du logiciel de traitement de signal MES fonctionnant sous environnement UNIX et développé par. Espesser (1996) au LPL<sup>31</sup>.

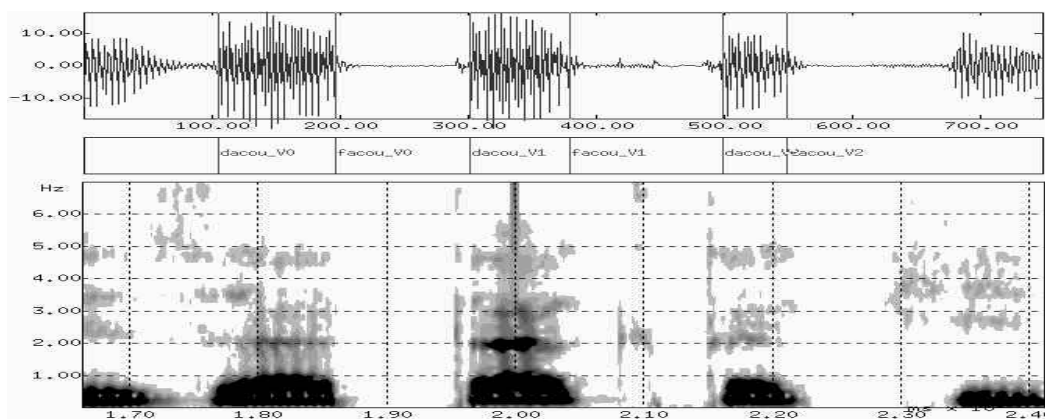
L'analyse prosodique concerne le corpus général dans son ensemble : la partie étudiée dans cette thèse et la partie complémentaire réservée à une étude post-doctorale. La procédure de normalisation tonale a déterminé cette analyse générale.

Seuls les paramètres suprasegmentaux relatif à la durée et à la fréquence fondamentale sont ici pris en compte.

##### **1.1. La segmentation acoustique des items**

Les prises de mesures tonales et temporelles ont été effectuées à partir de trois voyelles occupant une place donnée dans les items : les voyelles /a/ de la séquence cible V1C#CV2, et la voyelle inaccentuée (V0) précédente (contexte segmental gauche, tableau II.1.1).

La figure II.2.1 illustre la segmentation acoustique de la séquence V0C'V1C#CV2.



**Figure II.2.1** – Segmentation acoustique et étiquetage des voyelles V0, V1 et V2 à partir de l'oscillogramme et du sonagramme : « *Ma dérision et mes attaques taquinaient son ego.* » (locM). « *dacou\_* » pour début acoustique ; « *facou\_* » pour fin acoustique

Le début et la fin acoustiques de chaque voyelle sont identifiés à partir de l'oscillogramme et du sonagramme. Ils sont localisés respectivement au début et à la fin de la résonance vocalique caractérisée par les bandes fréquentielles d'énergie correspondant au premier et deuxième formant.

L'amortissement final et le pré-voisement initial de la voyelle, caractérisés par une simple barre de voisement sur le sonagramme et une onde simple sur l'oscillogramme, en contexte de consonne sourde, ne sont pas inclus dans la voyelle, mais intégrés à la consonne suivante ou précédente.

<sup>31</sup> Téléchargeable à l'adresse web suivante : [www.lpl.univ-aix.fr/ext/projects](http://www.lpl.univ-aix.fr/ext/projects).

## 1.2. Le traitement tonal

### 1.2.1. La détection de la fréquence fondamentale

La détection de la F0 des items a été effectuée au moyen de la méthode *vote* fournie par MES. Cette méthode consiste en un algorithme de décision qui effectue un calcul entre les détections issues de trois méthodes différentes : *Peigne* (Martin 1981a, Espesser 1982), *AMDF* et *Autocorrélation* (Fohr & Laprie 1989). Elle permet d'optimiser la détection pour différentes portions du signal.

Un vote ultérieur entre les différentes détections permet de minimiser les faiblesses de chacune des méthodes comme les sauts d'harmoniques lors de variations amples et rapides de la F0 (*AMDF*) ou les erreurs dans la détection du voisement (*Peigne*).

### 1.2.2. La normalisation tonale

Les données brutes relatives aux variations tonales ont subi un double traitement : un filtrage perceptif et une normalisation.

#### 1.2.2.a. Le filtrage perceptif

Le filtrage perceptif consiste à appliquer une procédure de conversion aux valeurs fréquentielles brutes de F0 exprimées sur l'échelle linéaire des hertz, afin de les représenter sur une échelle non linéaire intégrant la sélection fréquentielle opérée par le système auditif.

Hermes & van Gestel (1991) ont montré que l'échelle psycho-acoustique ERB (*Equivalent Rectangular Bandwidth*) était la plus appropriée pour rendre compte de la perception des variations inférieures à 500 Hz, c'est-à-dire de la F0. La formule de conversion en ERB des valeurs de fréquence en Hz ( $f$ ) est la suivante :  $ERB = 16.7 \times \log (1 + f/165.4)$ .

Cette procédure permet d'interpréter les variations de F0 d'un point de vue plus perceptif, en gommant les variations fréquentielles non perceptibles par l'oreille qui ne jouent aucun rôle linguistique dans le décodage des informations mélodiques fournies par la F0.

#### 1.2.2.b. La normalisation par la transformée z

A partir de cette conversion, les valeurs de F0 exprimées en ERB ont également subi une normalisation. Une normalisation est une procédure de calibrage post hoc qui permet de neutraliser un certain nombre de facteurs de variation dont on veut se défaire.

Nous avons appliqué une normalisation par conversion des données brutes en variables centrées réduites (Spiegel 1993) appelée *transformée z* (Campbell 1992). Elle permet d'exprimer chaque élément d'un effectif donné en terme d'écart à la moyenne par rapport à sa variabilité. La formule de la *transformée z* est la suivante :  $z_i = (x_i - \mu) / s$ , où  $i$  représente un élément,  $x_i$  sa valeur brute,  $\mu$  la moyenne de son effectif et  $s$  son écart type.

Cette formule rapporte la moyenne de tout effectif à un même niveau (0) et son écart type à une même distance (1). Les valeurs obtenues correspondent à la position en unité d'écart type de l'élément dans la distribution de l'effectif. Pour une distribution gaussienne, 99,73 % des éléments de l'effectif sont compris dans  $\pm 3$  écarts types de sa moyenne et 68,3 % entre  $\pm 1$ . Cette méthode permet d'intégrer l'élasticité de l'effectif, c'est-à-dire la dispersion de sa distribution reflétant son étendue de variation et sa variabilité propre. Il est alors possible de comparer directement les éléments entre eux d'un même effectif ou entre des effectifs différents normalisés séparément.

Concernant l'analyse prosodique de la parole, c'est-à-dire entre autre celle des variations linguistiques de la F0, elle consiste typiquement à essayer de se défaire d'un certain nombre de facteurs de variation non pertinents linguistiquement pour réduire la variabilité des données observées à celle induite par les facteurs proprement linguistiques, c'est-à-dire due aux seuls facteurs observés : ici, le contexte prosodique.

Dans cette approche, il est nécessaire de s'affranchir de la variabilité liée au contexte segmental, notamment celle liée à la F0 intrinsèque des voyelles (Lehiste 1970, Di Cristo 1980), et aux paramètres extralinguistiques, tels que les différences individuelles d'origine physiologique et idiolectale. Restent

alors idéalement la variabilité aléatoire résiduelle inhérente à tout phénomène naturel et celle induite pas le facteur étudié.

Les différences individuelles (idiolectales) sont simplement neutralisées en appliquant la normalisation locuteur par locuteur, les données relatives à chacun d'eux formant des effectifs séparés. La F0 intrinsèque, décroissante des voyelles hautes /i, y, u/ et nasales aux basses /ɛ, œ, ɔ, a/ en passant par les moyennes /e, ø, o/ (Di Cristo 1980), est spécifiquement neutralisée en appliquant la transformée z séparément pour chacune de ces catégories.

Cette méthode de normalisation de la F0 vocalique intrinsèque est dans notre cas problématique. En effet, /a/ représente 77 % des trois voyelles concernées par l'analyse prosodique. Les 23 % restant sont constitués des voyelles /i, e, ə, œ̃, ɔ̃, ã/ en position pré-tonique (V0). Le facteur de variabilité testé dans ce corpus étant les catégories prosodiques (inaccentuées, accentuées et intonatives), il aurait été maladroit d'appliquer la normalisation séparément sur l'effectif des /a/ et sur l'effectif des autres voyelles, du fait de l'apparition de ces dernières presque exclusivement en contexte inaccentué, contrairement aux /a/ qui apparaissent dans tous les contextes prosodiques.

Les résultats en auraient été biaisés : une variation de F0 importante pour /a/ aurait été équivalente après normalisation à une variation tonale minimale pour toute autre voyelle. Nous n'avons donc pas opéré de normalisation relative à la F0 intrinsèque des voyelles.

Outre ces précisions, l'application de ce type de normalisation demande que les données correspondent à un effectif conséquent et que la représentativité de chacune des catégories observées composant cet effectif reflète le mieux possible une répartition naturelle. Or, si nous n'avons pas de doute sur la première condition, la répartition naturelle des différentes catégories prosodiques composant l'effectif des valeurs tonales observées dans notre corpus est moins évidente.

En effet, notre corpus ne constitue pas un échantillon aléatoire proprement représentatif d'un comportement linguistique naturel, puisqu'il découle de la manipulation spécifique du contexte prosodique dans des phrases isolées et répétées en parole de laboratoire. Il implique donc une répétition artificielle de certains phénomènes linguistiques sans regard particulier sur leur occurrence naturelle dans la parole non laborantine.

Afin d'évaluer si la répartition de nos données se rapprochait d'une répartition naturelle, nous l'avons comparée avec celle obtenue à partir de l'analyse prosodique, effectuée par Astésano (1999), d'un texte d'environ 200 syllabes lu par deux locuteurs français

**Tableau II.2.1**<sup>32</sup> - Nombre et répartition des données prosodiques de notre corpus et de celui de référence (Astésano 1999) par catégories, tous locuteurs confondus

	Astésano		notre corpus	
	N	%	N	%
AFS	71	17	665	8,9
AF-UI	39	9,4	1315	17,7
INA	307	73,6	5454	73,4
S	417	100	7434	100
rapport ACC / INA		35,8		36,6

Le tableau II.2.1 présente la répartition (en %) et le nombre (N) des voyelles analysées en fonction des différents contextes prosodiques définis par Astésano. Les catégories AFS et AF-UI représentent des contextes accentués : respectivement, accent final de syntagme et accent final d'unité intonative continuative ou conclusive. INA constitue la catégorie inaccentuée. AF-UI est associée à la perception d'une frontière intonative majeure, alors qu'AFS est associée à la perception d'une frontière

<sup>32</sup> Cette répartition est faite ici a priori, c'est-à-dire à partir des réalisations prosodiques attendues et non après vérification de la place ou de la présence effective de l'accent attendu.



(mineure) accentuelle finale de syntagme.

Dans notre corpus, les données relatives à AFS renvoient aux valeurs tonales mesurées sur V1 de la catégorie ACC, celles relatives à AF-UI aux valeurs de V1 de ICT et ICC, et enfin celles à INA aux valeurs de V1 de notre catégorie inaccentuée INA, de V2 et de V0.

Le rapport (ACC/INA) entre l'effectif des catégories accentuées (AFS+AF-UI) et celui de la catégorie inaccentuée (INA) de notre corpus (36,6 %) est équivalent à celui d'Astésano (35,8 %). Seule la répartition entre les deux catégories accentuées, AFS et AF-UI, est inversée entre dans notre corpus par rapport à celle d'Astésano.

Ces résultats nous conduisent néanmoins à penser que la distribution des catégories prosodiques de notre corpus n'est pas très éloignée d'une répartition issue d'une condition plus naturelle.

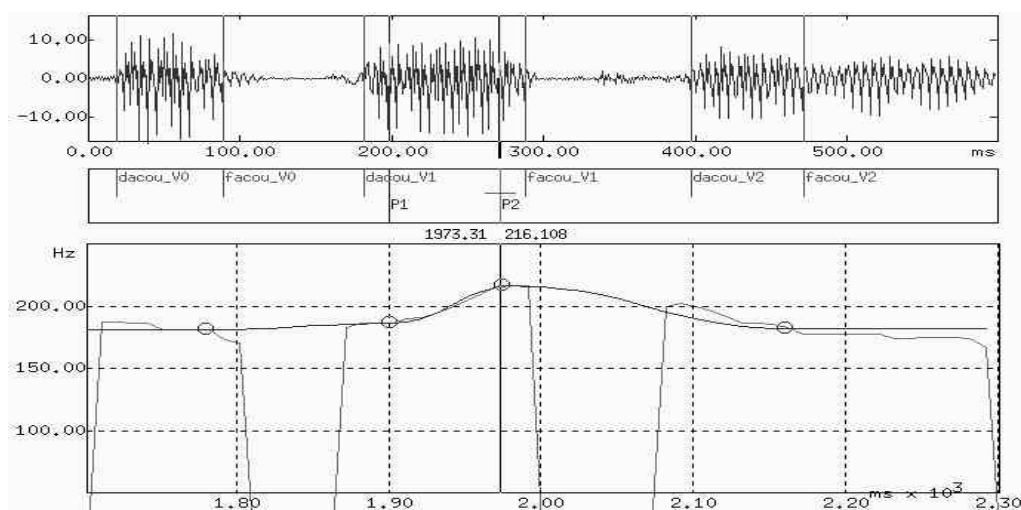
Nous avons appliqué la normalisation par transformé z aux données tonales de notre corpus, tous types de voyelles confondus.

Les variations mélodiques ne sont dès lors pas exprimées en terme de hauteur fréquentielle absolue, mais en terme de haussement ou d'abaissement tonal en unité d'écart type par rapport à la hauteur tonale moyenne de l'effectif constituant un repère relativement abstrait, sans rapport avec ce qui est communément appelé la « F0 usuelle » ou la dynamique de base mélodique.

### 1.2.3. La récupération des valeurs tonales

La phase de récupération des valeurs tonales, relatives à V0, V1 et V2, a fait appel à une procédure d'extraction automatique de la F0 en différents points de cette séquence de trois voyelles.

Tout d'abord, la F0 moyenne de chaque voyelle a été calculée à partir de la segmentation acoustique de la phrase. Elle correspond à la moyenne des valeurs en ERB de tous les échantillons de F0<sup>33</sup> compris entre 25 et 100 % de la durée acoustique de la voyelle.



**Figure II.2.2** - Stylisation (Momel) de la courbe de F0 de la séquence V0-V1-V2 et marquage des deux points d'enclage (P1 et P2) du contour mélodique s'établissant sur V1 (« *La vitesse de mes contre-attaques, Larissa l'apprécie.* », locC), à partir desquels les deux paramètres prosodiques ont été calculés : hauteur tonale et glissando vocalique

Nous avons exclu systématiquement le premier quart de la voyelle afin d'éviter de prendre en compte les micro-pics caractérisant fréquemment la F0 en début de voyelles précédées par une consonne sourde, cette variation micro-prosodique étant due à une contrainte physiologique aérodynamique (Hirst et al. 1999). Ainsi, l'amortissement final (lors de la segmentation acoustique) et le début des voyelles ont été ignorés.

<sup>33</sup> La fréquence d'échantillonnage est de 100 Hz.

C'est à partir de ces valeurs de F0 moyenne que la moyenne et l'écart type entrant dans la formule de normalisation tonale ont été calculés.

Ensuite, nous avons extrait automatiquement la valeur F0 en deux points du contour mélodique s'établissant sur la voyelle accentuée V1 : P1 et P2 (figure II.2.2). Ces points permettent de caractériser l'évolution du contour mélodique de V1.

P1 est automatiquement placé à 15 % de sa durée acoustique. Il marque le point départ de la montée mélodique du contour, correspondant globalement au début du glissando vocalique pouvant caractériser le contour.

P2 marque le point fréquentiel maximal atteint par la F0 lors de V1 (compris entre 15 et 85 % de sa durée). Il correspond globalement au point d'inflexion du contour mélodique montant-descendant. En cas de plateau maximal de la F0, P2 est localisé au milieu de celui-ci.

#### 1.2.4. Les mesures tonales : hauteur et glissando vocaliques

Les mesures tonales ont été effectuées pour caractériser phonétiquement les catégories prosodiques selon les deux paramètres tonaux principaux de hauteur tonale (Ht) et de glissando vocalique (Gv), s'ajoutant au paramètre temporel d'allongement vocalique (Av).

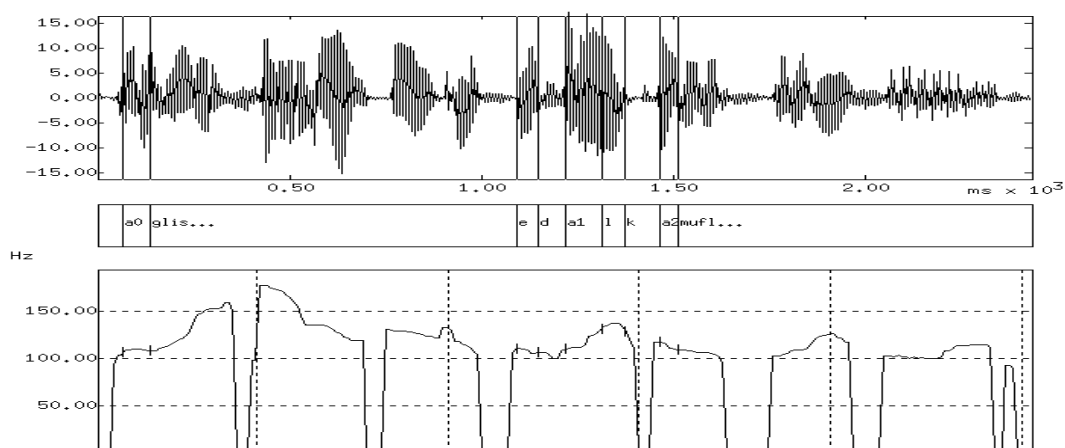
Ces deux mesures sont effectuées à partir des coordonnées tonales, exprimées en ERB normalisés, et temporelles, exprimées en ms, des points P1 et P2 de la configuration mélodique attachée à la voyelle accentuée V1.

La *hauteur tonale* (Ht) correspond à la valeur maximale atteinte par le contour mélodique localisée en V1 (P3). Elle est exprimée en unités d'écart type par rapport à la moyenne de l'effectif.

Le *glissando vocalique* [Gv] est calculé par la différence entre la valeur tonale en fin (P2) et en début de V1 (P1) rapportée à la valeur tonale du début de V1 (P1), le tout étant divisé par l'intervalle temporel entre P1 et P2. Il correspond donc à la pente mélodique qui s'établit sur V1. Il est exprimé en pourcentage de variation tonale par ms (figure II.2.2).

#### 1.2.5. Traitement particulier du groupe /lk/

Concernant les mesures tonales, la séquence al#ka a fait l'objet d'un traitement particulier du fait de la consonne voisée en coda dans la première syllabe de la séquence.



**Figure II.2.3** – Réalisation mélodique de la séquence al#ka issue de l'énoncé : « *La glycine grimpanche et ces dalles camoufleront ce mur.* » [locY]. En bas la courbe de F0

Dans ce cas, les variations mélodiques ne s'établissent pas seulement sur la voyelle, mais sur toute la rime : /a/+/l/. La figure II.2.3 illustre ce point : la montée mélodique d'intonation continuative majeure (CM) s'établit sur toute la rime /al/ et n'est pas restreinte à la voyelle.

Pour al#ka, nous avons donc effectué les mesures tonales sur toute la rime V1C1 (/al/), contrairement aux autres séquences dont les mesures tonales ne portent que sur la voyelle V1.

### 1.3. Le traitement temporel : l'allongement vocalique

L'allongement vocalique est le dernier paramètre retenu pour caractériser les différentes catégories prosodiques observées.

Ce paramètre ne correspond pas directement à la durée acoustique des voyelles /a/ en V1, mais à leur allongement différentiel (en %) par rapport aux voyelles /a/ inaccentuées. La durée moyenne des /a/ inaccentués, à laquelle est rapportée celle des /a/ en position V1 de la séquence étudiée, est calculée à partir des /a/ extérieurs à l'effectif étudié : en position V0, c'est-à-dire pré-tonique, et V2, c'est-à-dire post-tonique. Pour chaque groupe de consonnes et chaque locuteur, l'allongement vocalique (Av) est alors calculé pour chaque /a/ en V1 par la différence entre sa durée et la durée moyenne des /a/ inaccentués, rapportée à cette même moyenne (\*100).

Le tableau II.2.2 montre les durées moyennes des /a/ inaccentués et accentués pour les locuteurs de notre corpus, comparées avec celles obtenues par Astésano (1999) pour deux locuteurs français et pour un style de parole « journal radiophonique »<sup>34</sup>.

L'allongement différentiel moyen entre les /a/ accentués et les inaccentués est pour nos locuteurs de 38, 33 et 18 %. Il est relativement moins important que l'allongement mesuré par Astésano. Il faut cependant noter que notre groupe « accentué » comprend également les accents internes de syntagme (AM) théoriquement non allongés.

**Tableau II.2.2** - Durée moyenne, écart type des /a/ inaccentués (*inacc*) et accentués (*acc*), et allongement moyen des /a/ accentués dans notre corpus et dans celui d'Astésano (1999)

	notre corpus						Astésano			
	locC		locM		locY		journal F		journal M	
	inacc	acc	inacc	acc	inacc	acc	inacc	acc	inacc	acc
nombre	927	520	1226	718	1223	709	63	14	64	32
moyenne	71	98	68	80	70	93	76	107	73	106
écart type	10	18	13	12	12	19	13	38	22	41
allongement	38		18		33		41		45	

Les durées des /a/ inaccentués et accentués paraissent malgré tout assez homogène entre les deux études, hormis locM. La durée moins importante des voyelles accentuées de ce locuteur laisse penser qu'il fait peut-être un usage plus économe de ce paramètre pour le marquage des unités prosodiques.

## 2

### **Caractéristiques suprasegmentales des catégories prosodiques observées**

La détermination des propriétés phonétiques des quatre catégories prosodiques larges et des huit étroites reposent essentiellement sur les paramètres suprasegmentaux d'allongement (Av), de hauteur tonale (Ht) et de glissando vocalique (Gv).

#### 2.1. Les items écartés de l'analyse

Avant de conduire les analyses prosodiques et articulatoires, nous avons vérifié un certain nombre de points relatifs à la production des locuteurs et à la qualité des signaux acoustiques et EPG :

- (1) l'absence d'accentuation initiale contiguë à V1 ;

<sup>34</sup> Astésano (1999) ne fournit pas les valeurs brutes en ms pour les /a/ dans sa thèse. Nous la remercions de nous les avoir communiqué parallèlement. Nous n'avons cependant pu faire référence aux durées issues de la tâche de lecture, du fait d'un nombre insuffisant de /a/ dans son corpus. Le contexte accentué comprend les /a/ en syllabe accentuée non initiale de mot et non emphatique, et finale d'unités intonatives terminales ou non terminales.

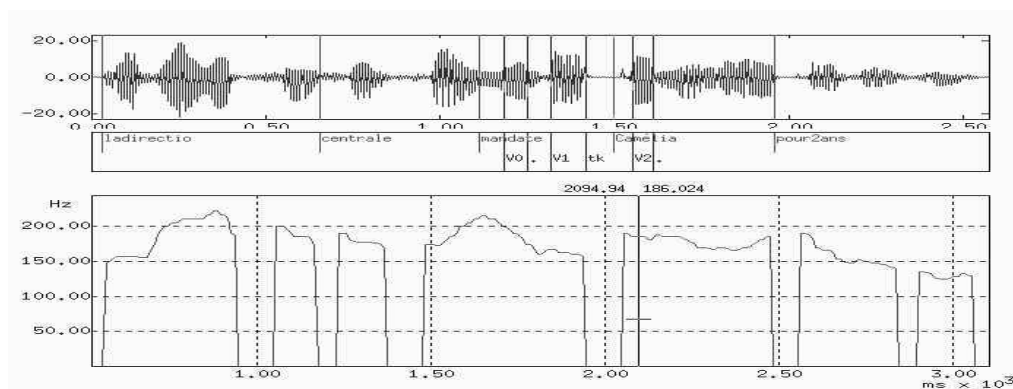
- (2) l'absence d'erreurs de lecture ;
- (3) la bonne qualité du signal acoustique et de la détection de la F0 ;
- (4) la bonne qualité du signal EPG.

Les items ne répondant pas à l'un de ces quatre critères ont été écartés des analyses. Leur nombre et les raisons d'exclusion sont rapportés pour chaque locuteur et chaque catégories prosodiques dans le tableau II.2.3.

**Tableau II.2.3** – Nombre des items exclus de l'étude pour cause d'accentuation initiale sur V0 ou V2 (AI) et d'erreur de lecture ou de mauvaise qualité du signal acoustique ou EPG (X), selon les catégories prosodiques et les locuteurs. *Les contextes prosodiques totalement écartés après exclusion des items sont encadrés*

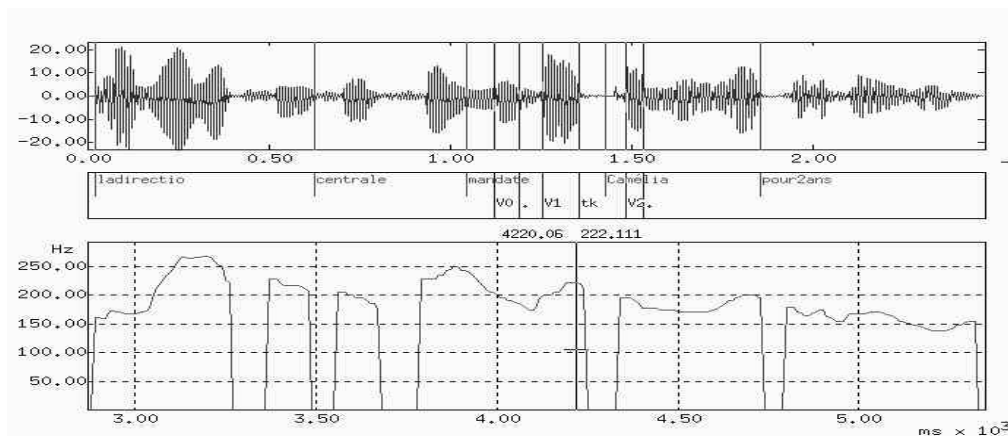
cat. pro.	loc	kl		kt		lk		tk	
		AI	X	AI	X	AI	X	AI	X
TM	C	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y	-	1	-	1	-	1	-	-
TN	C	-	-	-	-	-	-	-	2
	Y	-	-	-	-	-	1	-	1
CT	C	-	-	-	-	-	1	-	1
	Y	-	-	-	1	-	-	-	-
CM	C	-	1	-	1	-	1	-	-
	Y	-	-	-	-	-	-	-	1
AS	C	-	-	6	-	7	-	5	-
	M	-	-	-	-	-	1	-	-
AM	C	6	-	9	-	6	2	7	1
	MO	6	-	6	2	3	2	-	-
MO	C	6	-	6	2	3	2	-	-
	Y	-	-	-	-	-	-	-	2
SY	C	-	-	-	1	-	1	-	2

L'absence d'accent initial de mot en V0 ou V2, V1 devant toujours apparaître entre deux syllabes inaccentuées, a d'abord été vérifiée par l'écoute de tous les items, puis validée par une inspection visuelle de la configuration tonale de la séquence V0-V1-V2 de l'item douteux. Le tableau ci-dessus montre que seul locC répond à une accentuation initiale dominante dans les contextes AS, AM et MO. Les deux autres locuteurs n'en faisant pas usage.



**Figure II.2.4** – Réalisation par locC d'un accent initial en V2 pour la séquence at#ka dans le contexte AS : « La direction centrale mandate Camélia pour deux ans. ». En bas, la courbe de F0

Un exemple d'accentuation initiale de V2 dans le contexte AS par locC est donné dans la figure II.2.4. Pour comparaison, nous donnons également un exemple d'accentuation finale, correspondant à la réalisation de l'accent final de syntagme (AS), par ce même locuteur pour la même phrase (figure II.2.5).



**Figure II.2.5** – Réalisation par locC d'un accent final en V1 pour la séquence at#ka dans le contexte AS : « La direction centrale man'date Camélia pour deux ans. ». En bas, la courbe de F0

Combinée aux erreurs de lecture, à la mauvaise qualité du signal acoustique ou EPG enregistré et aux problèmes de détection de la F0 sur certains items (au nombre de 18), la production d'un accent initial explique principalement la disparition de certaines catégories prosodiques chez locC : celle de l'accent final de mot (AM) pour les groupes /kt/, /lk/ et /tk/ et celle de syllabe finale de mot interne de syntagme inaccentué (MO) pour le groupe /kt/. Les catégories prosodiques sous représentées, par moins de 5 items après exclusion, n'ont pas été retenues pour des raisons statistiques.

Le corpus relatif à locC a, de ce fait, subi une perte importante en terme de nombre de catégories prosodiques, mais aussi de nombre d'items composant certaines d'entre elles : AM n'est en effet plus représentée que par le contexte /kl/ et voit son effectif réduit à 6 items ; de même la catégorie AS n'est plus composée que de 6 items pour /kt/, 5 pour /lk/ au lieu de 12 pour chaque groupe. Au total, le corpus de locC, restant après exclusion de 92 items, ne représente plus que 75,3 % de celui initialement enregistré.

En revanche, les corpus de locM et locY sont demeurés identiques en terme de représentation des catégories prosodiques et quasi équivalents pour ce qui est du nombre d'items les composant. Seul un item a été exclu chez locM et 9 chez locY.

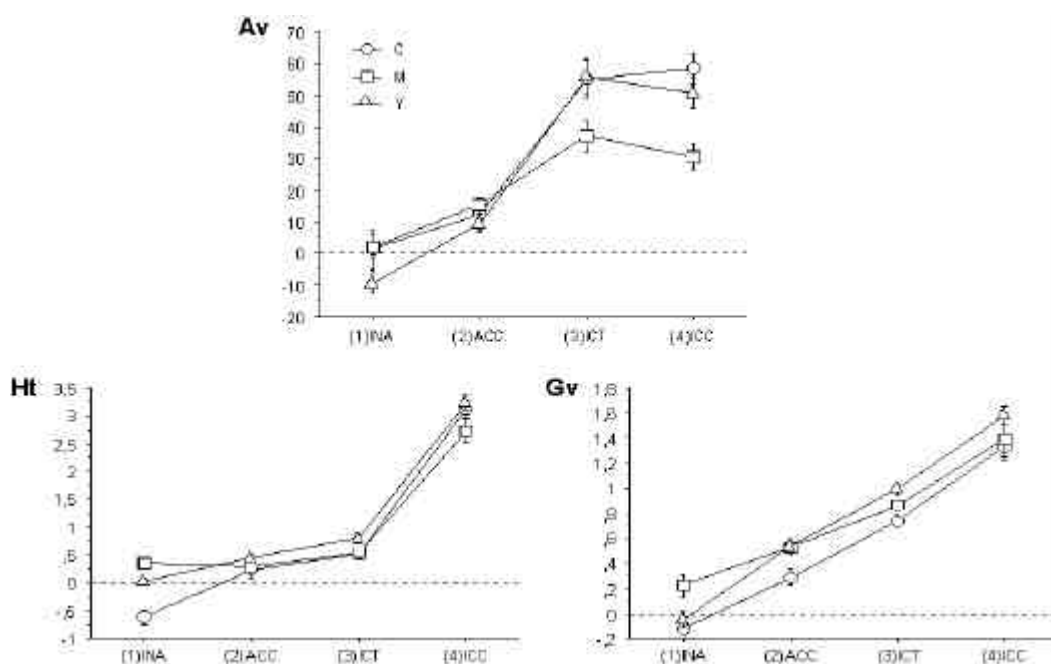
## 2.2. Les quatre catégories prosodiques larges

La caractérisation phonétique des catégories prosodiques repose sur trois paramètres suprasegmentaux mesurés sur la voyelle V1, à savoir l'allongement vocalique (Av), la hauteur tonale atteinte par le contour mélodique (Ht) et le glissando mélodique vocalique (Gv).

Des analyses de la variance (ANOVA) à un facteur (« *catégorisation prosodique large* » ou « *catégorisation prosodique étroite* ») ont été effectuées sur ces trois paramètres. Le niveau de significativité est fixé à 0,05. Tant les catégories larges qu'étroites ont un effet significatif sur les trois mesures prosodiques pour chacun des locuteurs ( $p < 0,0001$ ).

Nous avons réalisé des tests post hoc (PLSD de Fischer) afin de dégager les distinctions statistiques entre les quatre différentes catégories prosodiques larges, puis les huit étroites. La présentation des résultats des tests post hoc (tableaux II.2.4 et II.2.5) fait appel à une lecture particulière qui est expliquée en détails en annexe (Annexe 1). Nous convions le lecteur à s'y reporter pour en connaître la grammaire.

Les résultats statistiques concernant l'influence des catégories larges sur les trois paramètres prosodiques et leur distinction une à une selon ces mêmes paramètres sont présentés dans la figure II.2.6 et le tableau II.2.4.



**Figure II.2.6** - Moyenne et intervalle de confiance (à 95 %) des catégories prosodique larges selon l'allongement vocalique (Av), la hauteur tonale (Ht) et le glissando vocalique (Gv) pour chaque locuteur. *Les groupes de consonnes sont confondus*

Tout d'abord, il est à noter que l'interaction entre les facteurs « locuteurs » et « catégories larges » est toujours significative ( $p < ,0001$ ) pour les trois paramètres (ANOVA à deux facteurs : pour Av,  $F(6, 1205)=16,429$  ; pour Ht,  $F=21,887$  ; pour Gv,  $F=6,636$ ). Cela signifie que les locuteurs ont des comportements relativement différents s'agissant du marquage des catégories larges. Reste que si cette interaction est indéniable, la figure II.2.6 ci-dessus montre que la stratégie générale de catégorisation prosodique des locuteurs est globalement identique.

**Tableau II.2.4** - Résultats statistiques des ANOVA à un facteur « catégorisation prosodique large » et des tests post-hoc (PLSD de Fisher) effectués sur les trois paramètres suprasegmentaux pour chaque locuteur, groupes de consonnes confondus. « < » indique que la catégorie à gauche a une moyenne significativement ( $p = ,05$ ) plus basse que la catégorie à droite. « - » et « ns » signalent une différence non significative ( $p > ,05$ )

	loc	distinctions significatives	valeur p ; valeur F
Av	C	INA < ACC < ICT-ICC	<,0001 ; F(3, 285)=86,001
	M	INA < ACC < ICC < ICT	<,0001 ; F(3, 464)=56,141
	Y	INA < ACC < ICC-ICT	<,0001 ; F(3, 456)=213,417
Ht	C	INA < ACC < ICT < ICC	<,0001 ; F(3, 285)=608,804
	M	ACC-INA < ICT < ICC	<,0001 ; F(3, 464)=378,368
	Y	INA < ACC < ICT < ICC	<,0001 ; F(3, 456)=864,874
Gv	C	INA < ACC < ICT < ICC	<,0001 ; F(3, 285)=404,996
	M	INA < ACC < ICT < ICC	<,0001 ; F(3, 464)=92,587
	Y	INA < ACC < ICT < ICC	<,0001 ; F(3, 456)=534,341

Concernant l'allongement vocalique de V1 (Av), la figure II.2.6 montre un comportement très voisin des différents locuteurs, notamment pour la catégorie accentuelle (ACC). Seul locM se distingue sensiblement des deux autres par l'amplitude plus faible d'allongement produit pour les catégories

intonatives.

Les comparaisons post hoc (tableau II.2.4) montrent que locC et locY opèrent une répartition identique en trois niveaux distinctifs d'allongement : inaccentué < accentué < intonatif. LocM distingue ces mêmes catégories dans le même ordre, mais montre un allongement significativement plus important pour la catégorie intonative continuative que pour la conclusive.

La figure II.2.6 relative à la hauteur tonale de V1 (Ht) montre un comportement similaire des trois locuteurs pour les catégories accentuées et intonatives. Seul locM se distingue par une hauteur tonale équivalente entre la catégorie inaccentuée et accentuée, ce paramètre n'étant pas primordial pour différencier ces deux catégories chez ce locuteur. Il les distingue par contre clairement selon les deux autres paramètres (Av et Gv), ACC étant réalisé par un allongement et un glissando statistiquement supérieurs à INA (tableau II.2.4). Ce point illustre bien le fait que les catégories prosodiques répondent sur le plan phonétique à un paramétrage multiple permettant de compenser l'absence contextuelle d'un des paramètres qui les déterminent (Rossi 1999 : 110/181).

LocC et locY font les mêmes distinctions tonales entre les quatre catégories larges : inaccentué < accentué < intonation continuative < intonation conclusive (tableau II.2.4), alors que seulement trois niveaux sont distingués par LocM selon la hauteur tonale.

Le glissando vocalique de V1 (Gv) est le paramètre pour lequel la hiérarchie entre les quatre catégories larges est la mieux exprimée. Elle répond à un accroissement linéaire entre les catégories et montre une grande homogénéité entre les locuteurs. Seul locM montre par rapport aux deux autres locuteurs un « glissando » plus important pour la catégorie inaccentuée, mais qui reste statistiquement inférieur à celui des catégories accentuées (figure II.2.6).

Les tests post hoc réalisés sur le glissando (tableau II.2.4) valident que les trois locuteurs effectuent la même répartition distinctive entre les catégories prosodiques larges selon quatre niveaux attendus : inaccentué < accentué < intonation continuative < intonation conclusive.

Il apparaît donc que les quatre catégories prosodiques larges se différencient bien par leur paramétrage phonétique, au regard de l'amplitude des paramètres, excepté une absence de différence d'allongement vocalique des catégories intonatives pour deux des trois locuteurs.

### 2.3. Les huit catégories prosodiques étroites

L'effet statistique des huit catégories étroites sur les trois paramètres prosodiques est présenté dans la figure II.2.7 et le tableau II.2.5.

L'interaction entre les facteurs « locuteurs » et « catégories étroites » est toujours significative ( $p < ,0001$ ) pour les trois paramètres (ANOVA à deux facteurs : pour Av,  $F(14, 1205)=8,383$  ; pour Ht,  $F=21,78$  ; pour Gv,  $F=32,134$ ).

Le comportement différent des locuteurs repose sur trois points essentiels (figure II.2.7) :

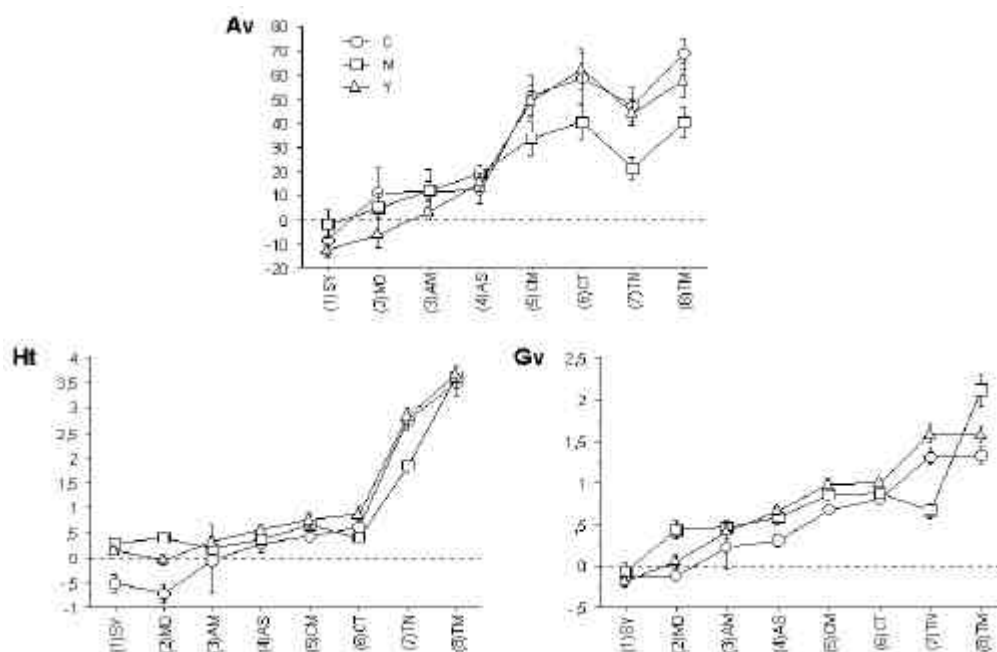
- (1) les divergences concernant surtout les catégories inférieures à AS : SY, MO, AM ;
- (2) la particularité de locM réalisant un allongement pour les catégories intonatives plus réduit que chez les deux autres locuteurs (déjà constaté pour les catégories larges) ;
- (3) la réalisation prosodique de TN selon un mode plus réduit de la part de locM.

Reste que, relativement au nombre important des catégories étroites, les locuteurs montrent tout de même des comportements prosodiques très homogènes, particulièrement locC et locY.

S'agissant de l'allongement (figure II.2.7), locC et locY montrent le même comportement pour le marquage des catégories AS, CM, CT, TN et TM. LocM suit également la même tendance mais sur un mode réduit, c'est-à-dire avec un degré d'allongement moins important. Les comportements individuels diffèrent surtout au regard de la catégorie MO que locC ne distingue pas des catégories accentuelles.

Les tests post-hoc montrent que les locuteurs produisent entre 4 et 5 niveaux distinctifs d'allongement. Alors que locC et locY répondent à des regroupements catégoriels assez nets, pour locM les catégories

SY, MO, AM et AS répondent à une différenciation moins claire, proche d'une variation continue de SY à AS.



**Figure II.2.7** - Moyenne et intervalle de confiance (à 95 %) des catégories prosodiques étroites selon l'allongement vocalique, la hauteur tonale et le glissando vocalique pour chaque locuteur. Les groupes de consonnes sont confondus

Si les locuteurs montrent un nombre de niveaux d'allongement distinctif équivalent, ils ne réalisent pas les mêmes regroupements, deux à deux, des catégories étroites selon la catégorisation large proposée.

Ainsi, locC distingue les syllabes inaccentuées internes de mot, des syllabes finales de mot (accentuées ou non), des intonèmes les moins extrêmes<sup>35</sup> (TN et CM), de l'intonème de topique (CT), et enfin de celui de conclusion (TM).

LocY rend compte des mêmes regroupements pour les intonèmes sans distinguer les deux extrêmes entre eux, mais diffère de locC surtout par le fait qu'il regroupe les deux catégories inaccentuées et distingue les deux accentuées entre elles. On pourrait résumer sa stratégie prosodique relative à l'allongement de la façon suivante : inaccentué < accentuation de degré 1 < accentuation de degré 2 < intonations non extrêmes < intonations extrêmes. Les intonations extrêmes peuvent être comprises comme les intonations dominantes de l'énoncé. Par exemple, CT sera toujours un contour dominant par ces traits phonétiques face à CM, de même pour TM et TN (Rossi 1999 : 67/87).

Enfin, locM produit un même niveau d'allongement distinctif pour les catégories intonatives (hormis TN). Les catégories accentuées et inaccentuées répondent plutôt à une variation continue d'allongement de SY à AS.

Concernant la hauteur tonale, les locuteurs sont très homogènes pour les catégories accentuelles et intonatives, hormis CT et TN de locM montrant une hauteur bien inférieure à celle produite par locC et locY. Par contre, les comportements individuels diffèrent pour le marquage des catégories inaccentuées (figure II.2.7).

Les comparaisons par paires (tableau II.2.5) montrent que locC et locM regroupent les catégories étroites selon 5 niveaux distinctifs de hauteur mélodique et locY selon 7.

<sup>35</sup> Voir la détermination formelle des catégories prosodiques étroites, inspirée de Rossi (1999), tableau II.1.5, où CM et TN sont phonétiquement marqués par des paramètres suprasyllabiques réduits par rapport respectivement à CT et TM.



**Tableau II.2.5** - Résultats statistiques des ANOVA à un facteur « *catégorisation prosodique étroite* » et des tests post-hoc (PLSD de Fisher) effectués sur les trois paramètres suprasegmentaux pour chaque locuteur, groupes de consonnes confondus. *Pour la syntaxe des parenthèses : cf. Annexe 1*

	loc	distinctions significatives	valeur p ; valeur F
	C	SY < MO-AM-AS < TN-(CM) < CT < TM	<,0001 ; F(7, 285)=44,563
<b>Av</b>	M	SY < (MO) < (AM) < (AS)-TN < CM-TM-CT	<,0001 ; F(7,464 )=30,329
	Y	SY-MO < AM < AS < TN-CM < TM-CT	<,0001 ; F(7, 456)=101,717
	C	MO-SY < AM-(AS) < (CM)-CT < TN < TM	<,0001 ; F(7, 285)=313,14
<b>Ht</b>	M	AM < (SY-AS)-CT-MO < CM < TN < TM	<,0001 ; F(7, 464)=397,378
	Y	MO < SY < AM < AS < CM-CT < TN < TM	<,0001 ; F(7, 456)=466,52
	C	SY-MO < AM-AS < CM < CT < TN-TM	<,0001 ; F(7, 285)=177,006
<b>Gv</b>	M	SY < MO < (AM)-(AS) < TN < CM-CT < TM	<,0001 ; F(7,464 )=140,959
	Y	SY < MO < AM < AS < CM-CT < TM-TN	<,0001 F(7, 456)=250,529

Ainsi, locC distingue les catégories inaccentuées des accentuées, des intonations continuatives (hormis CM et AS), de l'intonation conclusive mineure, de l'intonation conclusive majeure.

LocM ne distingue entre elles ni les syllabes inaccentuées internes ou finales de mot ni les syllabes accentuées. Intonations continuatives et intonations conclusives se différencient respectivement entre elles. Par contre, la hauteur tonale très réduite de la continuation de topique (CT), de même niveau que les syllabes accentuées et inaccentuées est très inattendue. Ce cas illustre les possibilités de compensation entre les paramètres suprasegmentaux pour le marquage prosodique des énoncés. CT montre une hauteur tonale basse, mais un allongement très important, le plus long des catégories intonatives pour ce locuteur.

Par la hauteur tonale, locY distingue toutes les catégories prosodiques étroites entre elles, sauf CM et CT. Il différencie entre elles tant les catégories accentuelles que les inaccentuées. Cependant, ces dernières montrent une hauteur bien inférieure aux autres catégories et une différence minimale entre elles.

Pour deux des trois locuteurs (locC et locY), les intonations continuatives CM et CT ne se différencient pas par leur hauteur tonale. Comme pour locM, cette distinction repose principalement sur l'allongement supérieur de CT, combiné à un glissando plus marqué pour locC.

Enfin, comme attendu, du fait de leur caractère interrogatif, les intonations conclusives se distinguent de manière très importante par leur hauteur tonale extrême. La majeure se différencie également nettement de la mineure selon ce même trait.

S'agissant du glissando vocalique, locC et locY ont un comportement quasi similaire. Seul locM se distingue par un glissando plus réduit pour TN et plus marqué pour MO et TM par rapport aux deux autres locuteurs (figure II.2.7).

Les tests post hoc montrent que, pour tous les locuteurs, c'est selon ce paramètre que les regroupements des catégories prosodiques étroites se rapprochent le plus de ceux proposés par la catégorisation large.

LocC est ainsi très proche d'un regroupement des huit catégories étroites selon les quatre catégories larges : inaccentuée < accentuée < intonation continuative < intonation conclusive. La seule différence repose sur un glissando significativement plus marqué de CT par rapport à CM.

LocY regroupe selon les catégories larges les intonations continuatives et conclusives. Par contre, il distingue une à une de manière croissante les catégories étroites inaccentuée et accentuée de SY à AS.

LocM regroupe les intonations continuatives. Les catégories accentuées sont, elles, intermédiaires entre les inaccentuées et les intonatives. L'intonème conclusif mineur interrogatif (TN), comme pour l'allongement, est produit avec un glissando très réduit inférieur à celui des intonèmes continuatifs. L'intonème conclusif majeur interrogatif (TM), au contraire, est réalisé par un glissando qui est bien

supérieur et plus marqué que pour les autres locuteurs.

Ainsi, le glissando apparaît comme le paramètre selon lequel les regroupements des catégories étroites selon la catégorisation prosodique large pourrait le mieux se justifier phonétiquement. Cela tenant probablement au fait que ce paramètre suprasegmental évolue selon les dimensions temporelle et mélodique.

## 2.4. Une hiérarchisation phonéto-fonctionnelle des catégories prosodiques

Cette analyse phonétique permet d'envisager une hiérarchie formelle ordonnant nos catégories prosodiques, étroites et larges, selon l'importance de leur marquage prosodique combinant le poids des trois traits suprasegmentaux d'allongement, de hauteur et de glissando mélodique.

Afin d'estimer l'importance de ce marquage pour chacune des catégories prosodiques, nous avons calculé un *indice d'ordre hiérarchique phonétique* (*iH4* pour les catégories larges et *iH8* pour les étroites). Cet indice représente la position moyenne, entre les locuteurs et les différents paramètres, de chacune des catégories prosodiques par rapport aux autres. Cette position est déterminée par le numéro de rang (ou niveau) moyen occupé dans les séquences ordonnées fournies par les tests post hoc (tableaux II.2.4 et II.2.5).

L'exemple des séquences post hoc relatives à l'ordre des catégories étroites selon cinq à sept niveaux de hauteur tonale (Ht) des trois locuteurs (tableau II.2.5) permet d'illustrer la méthode de calcul de cet indice :

- (1) dans la séquence de locC,  $MO-SY < AM-(AS) < (CM)-CT < TN < TM$ , les numéros de rang de chaque catégorie sont les suivants :  $MO/SY = 1$  ;  $AM = 2$  ;  $CT = 3$  ;  $TN = 4$  ;  $TM = 5$  ;  $AS/CM = 2,5$  (ces catégories étant à un niveau intermédiaire non significativement distingué de AM et de CT)
- (2) dans celle de locM,  $AM < (SY-AS)-CT-MO < CM < TN < TM$  :  $AM = 1$  ;  $SY/AS = 1,5$  ;  $CT/MO = 2$  ;  $CM = 3$  ;  $TN = 4$  et  $TM = 5$
- (3) dans celle de locY,  $MO < SY < AM < AS < CM-CT < TN < TM$  :  $MO = 1$  ;  $SY = 2$  ;  $AM = 3$  ;  $AS = 4$  ;  $CM/CT = 5$  ;  $TN = 6$  et  $TM = 7$ .

A partir de ces valeurs de rang, la moyenne inter-locuteur pour chaque catégorie est calculée :

- (1) la valeur de rang moyen de AS =  $(2,5 + 1,5 + 4)/3$ , soit 2,7
- (2) celle de CT =  $(3 + 2 + 5)/3$ , soit 3,3
- (3) et ainsi de suite pour chacune des huit catégories.

Les valeurs de rang moyen des catégories étroites et larges sont respectivement présentées dans les figures II.2.9 et II.2.8.

Enfin, à partir de la valeur de rang moyen (inter-locuteur) des catégories pour chacun des trois paramètres, l'*indice de hiérarchie phonétique* de chaque catégorie est obtenu en moyennant entre elles les valeurs de rang obtenues pour les trois paramètres suprasegmentaux (figures II.2.8 et II.2.9).

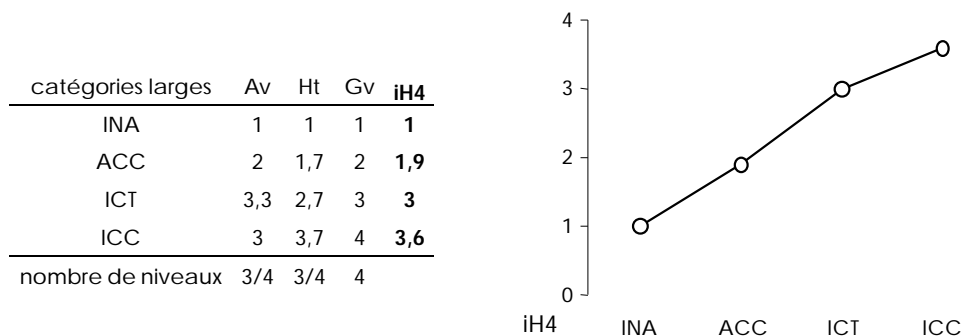
Cet indice fournit une mesure globale de l'importance du marquage phonétique suprasegmental des catégories prosodiques. Il permet ainsi de les situer les unes par rapport aux autres. Il est important de noter qu'il n'est probablement pas réaliste et légitime de combiner aussi les différents paramètres suprasegmentaux, ne sachant pas le poids respectif de chacun et leur interaction dans l'identification et la discrimination perceptive des catégories prosodiques.

Néanmoins, cet indice permet de proposer un ordonnancement des phénomènes accentuels et intonatifs selon l'importance croissante de leur traits et de leur poids dans l'énoncé.

Les résultats quant à la répartition hiérarchique générale des catégories prosodiques larges, résultant de l'amplitude de leur marquage phonétique exprimé par l'indice hiérarchique, sont exposés dans la figure II.2.8.

L'*indice de hiérarchie phonétique* indique un ordre linéaire croissant entre les quatre catégories répondant à la hiérarchie large attendue : *inaccentué (INA) < accentué (ACC) < intonation continuative (ICT) < intonation conclusive (ICC)*.

La distinction hiérarchique entre ICT et ICC repose essentiellement sur les paramètres tonals (Ht et Gv). Selon l'allongement (Av), ces deux catégories montrent une relation hiérarchique inverse, bien que la différence soit relativement faible (Av, tableau de la figure II.2.8). Cette distinction formelle hiérarchique semble donc provenir de la modalité interrogative de la catégorie ICC favorisant un comportement tonal extrême.



**Figure II.2.8** – Catégories prosodiques larges ordonnées selon l'indice de hiérarchie phonétique (iH4).  
Tableau de gauche : les valeurs de rang moyen selon les différents paramètres et leur moyenne (iH4). A droite : les différentes catégories prosodiques larges ordonnées selon iH4

Dans les approches phonologiques de la prosodie, comme celle de Hirst & Di Cristo (Di Cristo 1998), la modalité opère une distinction paradigmatique entre catégories intonatives (assertion *vs* interrogation *vs* impérative), différente du processus de leur distinction syntagmatique dans l'énoncé, selon le degré de proéminence finale des unités intonatives. Ainsi, intonations assertives et intonations interrogatives n'ont pas directement, du point de vue de la modalité, de relation hiérarchique. Dans un modèle morphologique de l'intonation, comme celui de Rossi (1999), la distinction de modalité est effectuée par les morphèmes intonatifs et relève d'une distinction fonctionnelle.

La distinction entre ICT et ICC répond également à une séparation fonctionnelle entre intonation pouvant constituer une marque prosodique finale d'énoncé (ICC) et intonation non finale d'énoncé (ICT).

S'agissant des autres catégories larges, elles se distinguent des intonatives, et entre elles, par des positions hiérarchiques plus basses de ACC à INA, du fait d'une réduction graduelle de tous leurs traits phonétiques.

L'indice de hiérarchie phonétique (figure II.2.9) propose un ordre croissant selon des huit catégories étroites correspondant également à la hiérarchie attendue : syllabe interne de mot inaccentué (SY) < syllabe finale de mot inaccentué (MO) < accent final de mot (AM) < accent final de syntagme (AS) < intonation continuative majeure (CM) < intonation continuative de topique (CT) < intonation conclusive mineure (TN) < intonation conclusive majeure (TM).

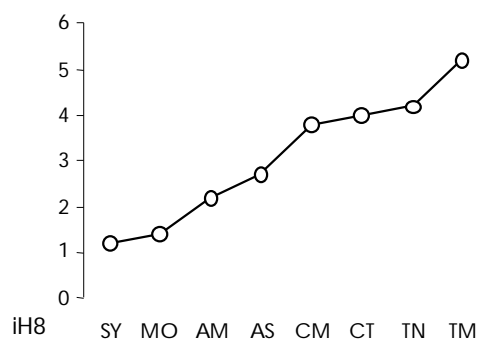
Parmi les trois paramètres suprasegmentaux, le glissando vocalique, c'est-à-dire le paramètre tonotemporel, montre la plus grande adéquation avec la hiérarchie phonétique selon l'indice de hiérarchie phonétique. Il effectue exactement le même arrangement catégoriel, alors que, d'une part, les catégories SY et MO / CM et CT sont inversées selon la hauteur tonale, et que, d'autre part, TN occupe la position la plus basse des catégories intonatives selon l'allongement (figure II.2.9).

Cette hiérarchie phonétique des catégories étroites n'est pas strictement linéaire et fait apparaître la plupart des regroupements opérés par la catégorisation large. Comme on peut le voir sur le graphique de la figure II.2.9, un premier palier hiérarchique concerne les catégories SY et MO, un second regroupe les catégories AM et AS, et un troisième CM, CT et TN. Ces paliers correspondent respectivement aux catégories larges des syllabes inaccentuées (INA), des syllabes accentuées (ACC) et des intonèmes continuatifs (ICT). A un dernier palier hiérarchique se trouve TM de la catégorie large des intonèmes conclusifs (ICC).

La seule différence notable dans les regroupements larges des catégories prosodiques étroites tient à la position hiérarchique de l'intonème de continuation mineur TN sur le palier des intonations

continuatives. Cette place hiérarchique de TN, plus basse qu'attendue, repose sur un allongement réduit (Av, tableau de la figure II.2.9).

catégories étroites	Av	Ht	Gv	iH8
SY	1	1,5	1	1,2
MO	1,2	1,3	1,7	1,4
AM	2	2	2,5	2,2
AS	2,5	2,7	2,8	2,7
CM	3,8	3,5	4	3,8
CT	4,3	3,3	4,3	4
TN	3,3	4,7	4,6	4,2
TM	4,6	5,7	5,3	5,2
nombre de niveaux	4/5	5/7	5/6	



**Figure II.2.9** – Catégories prosodiques étroites ordonnées selon l'indice de hiérarchie phonétique (iH8). Tableau à gauche : les valeurs de rang moyen selon les différents paramètres et leur moyenne (iH8). À droite : les différentes catégories prosodiques étroites ordonnées selon iH8

Nous avons néanmoins fait le choix de conserver l'ordre et la répartition des catégories étroites selon celui effectué initialement pour constituer les catégories larges. Ce choix repose sur deux raisons essentielles, dont la dernière a déjà été évoquée :

- (1) l'adéquation quasi parfaite dans la répartition hiérarchique des catégories prosodiques étroites dans les catégories prosodiques larges ;
- (2) la volonté de conserver une distinction fonctionnelle entre CM-CT d'un côté et TN-TM de l'autre, reposant sur la modalité différente (interrogative) de TN et TM et sur le fait que seuls ces intonèmes peuvent clore l'énoncé.

En conclusion, deux hiérarchies de catégories prosodiques, fondées sur des critères phonétiques formels et sur des critères fonctionnels seront utilisées pour étudier les relations entre prosodie et articulation : l'une, plus élémentaire, comptant quatre catégories prosodiques larges et, l'autre, fine comptant huit catégories prosodiques étroites.

Ces deux hiérarchies prosodiques sont articulées de façon à ce que les quatre catégories larges soient composées chacune de deux catégories étroites. Cette composition n'est pas artificielle, mais repose sur leur spécification phonétique en termes d'allongement, de hauteur tonale et de glissando, et sur leur spécificité fonctionnelle selon l'importance du constituant phonologique ou pragmatico-syntaxique qu'elles marquent dans l'énoncé.

Ainsi, ces deux hiérarchies des catégories prosodiques, larges et étroites, se composent et s'articulent de la façon suivante (croissante de gauche à droite) :

<i>catégories larges</i>	INA	ACC	ICT	ICC
	/ \	/ \	/ \	/ \
<i>catégories étroites</i>	SY	MO	AM AS	CM CT TN TM

## Chapitre 3

### *L'analyse articulatoire*

#### 1

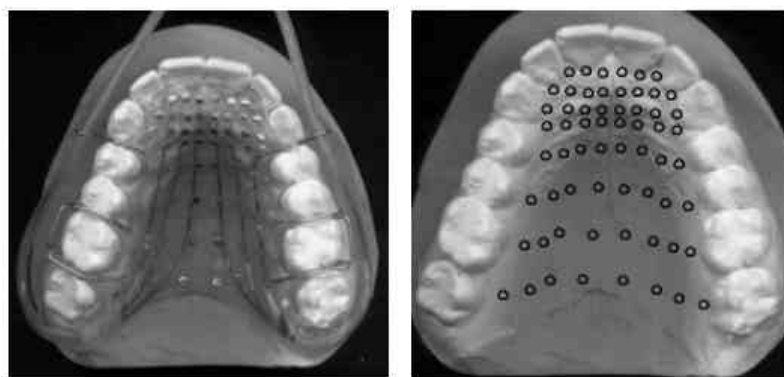
#### *L'électropalatographie*

L'électropalatographie (EPG) est un dispositif qui permet l'acquisition en quasi continu des informations spatio-temporelles relatives aux contacts de la langue avec le palais dur, dans les plans coronal et sagittal.

L'EPG se compose d'un palais artificiel, de type orthodontique, sur lequel sont implantées des électrodes (figure II.3.1). Un courant électrique de bas voltage est alors envoyé dans le corps du sujet au moyen d'une électrode externe. Celle-ci constitue un pôle du circuit dont les électrodes du palais constituent l'autre. La langue agit alors comme un commutateur. Lorsqu'elle touche une électrode, le circuit est fermé et le contact détecté grâce au passage du courant. Selon le système utilisé, il est possible d'acquérir un signal émis par 62 à 96 électrodes simultanément toutes les 4 à 10 ms.

Le premier système utilisé connu est celui développé par le russe Kuzmin (1962)<sup>36</sup>. Depuis différents systèmes ont été développés (Hardcastle 1972, Marchal 1988a, pour un historique). Actuellement, trois systèmes concurrents sont couramment utilisés<sup>37</sup> :

- (1) *Electropalatography* (EPG) de Reading : 62 électrodes arrangées en ligne et colonne, une image toutes les 5 ms, recouvrement du palais dur (Hardcastle 1972, 1984, Hardcastle et al. 1989) ;
- (2) *Dynamic Palatography* (Rion DP) : 61 à 63 électrodes arrangées en arc de cercle, une image toutes les 4 ms, recouvrement du palais dur (Fujii 1970, Fujii et al. 1971, Mizutami et al. 1990) ;
- (3) *Kay Elemetrics Palatometer* : 96 électrodes arrangées en arc de cercle, une image toutes les 10 ms ; recouvrement du palais dur et de la face interne de la dentition (Fletcher et al. 1975, Byrd et al. 1995, pour une description récente).



**Figure II.3.1** - Palais artificiel électropalatographique de Reading (locC) sur son empreinte dentaire (à gauche) et localisation des électrodes sur l'empreinte (à droite)

Nous utilisons le système de Reading (figure II.3.1) dont le palais en résine à une épaisseur d'environ 1,5 mm et sur lequel 62 électrodes sont symétriquement implantées selon l'axe médio-sagittal. Il permet

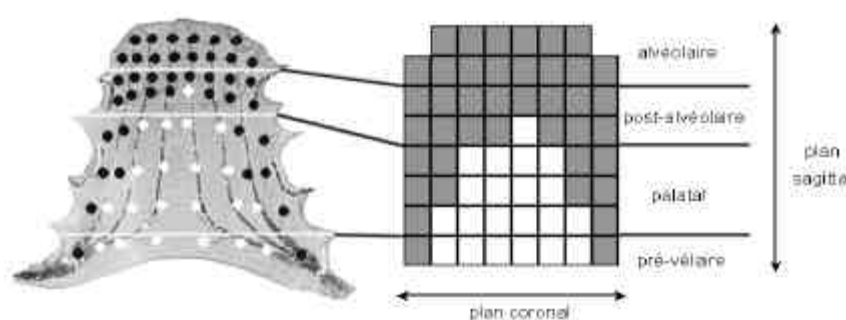
<sup>36</sup> Cf. Kozhevnikov & Chistovich (1965).

<sup>37</sup> Ne sont présentées que les configurations les plus communes et récentes des différents systèmes ; ceux-ci ayant bien évidemment connu une évolution importante et des adaptations spécifiques selon les objets d'étude.

d'observer l'articulation linguopalatale dans les dimensions spatiale et temporelle.

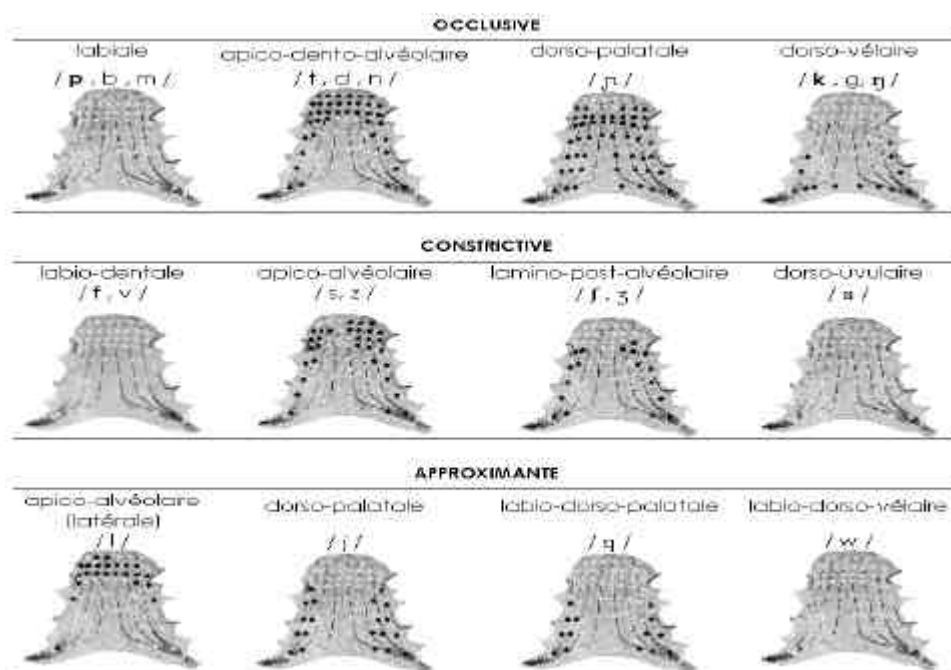
### 1.1. Les informations spatiales

Chaque image EPG est constituée par 62 électrodes contactées par la langue. La répartition des contacts sur le palais est principalement fonction du lieu, du mode d'articulation et de la partie de la langue impliquée dans la réalisation du segment. La figure II.3.2 illustre les zones EPG communément délimitées pour les lieux d'articulation linguopalatale (Recasens 1990, Harcastle et al. 1991, Gibbon & Nicolaidis 1999).



**Figure II.3.2** - A gauche, l'image du palais EPG montrant en noir les électrodes contactées pour /t/ (occlusion maximale). A droite, sa représentation stylisée avec délimitation des lieux d'articulation linguopalatale [locY]

Selon le plan sagittal, le lieu d'articulation est déterminé par la localisation de la zone EPG montrant le plus de contacts. A partir de cette information, l'articulateur peut également être identifié : aux lieux alvéolaire et post-alvéolaire correspondent respectivement un geste coronal (apex/lame de la langue) et aux lieux palatal et pré-vélaire un geste pré-, médio- ou post-dorsal (corps/dos de la langue).



**Figure II.3.3** - Image EPG du contact linguopalatal maximal pour les consonnes du français en contexte /a\_a/ [locY]

La figure II.3.3 montre l'image EPG des consonnes du français au moment de la constriction maximale. Pour les consonnes d'articulation labiale et uvulaire, l'EPG ne donne aucune information (mise à part l'absence de contacts indiquant qu'il ne s'agit pas d'une articulation linguopalatale). Les

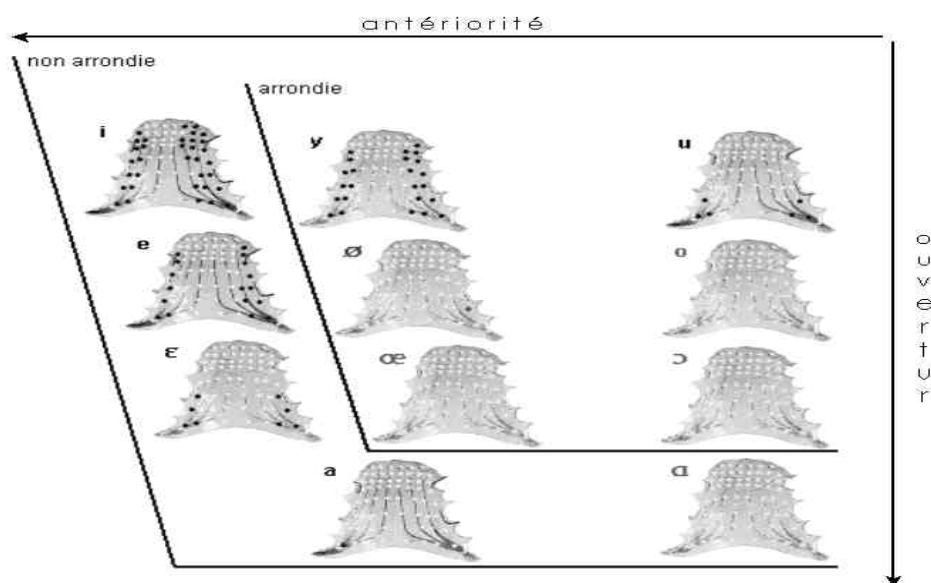
consonnes vélares posent un problème plus délicat. Suivant le contexte phonétique, leur articulation peut se déplacer d'une position pré-vélaire (ou post-palatale : /ki/) à vélaire (/ku/). Cela implique que, dans nombre de cas, l'EPG ne permet de visualiser qu'une petite partie des gestes dorso-vélaire (particulièrement plus l'articulation est ouverte, cf. /w/ figure II.3.3), rendant parfois l'interprétation des données difficile.

Par contre, l'EPG permet l'observation précise des différents lieux d'articulation des consonnes linguopalatales antérieures et centrales. Par exemple, les travaux de Flege et al. (1988), Fletcher (1989), Engstrand (1989) et Fletcher & Newman (1991) montrent que le lieu d'articulation des fricatives est directement inférable à partir du nombre de contacts EPG centraux au moment de la constriction maximale : plus l'articulation est antérieure, plus le nombre de contacts centraux est élevé et donc la constriction étroite (/s/ vs /ʃ/, figure II.3.3).

Selon le plan coronal, l'EPG permet de déterminer le mode d'articulation consonantique. Plus l'articulation est fermée, plus la constriction linguopalatale est étroite, et donc les contacts EPG centraux : par ordre décroissant, mode occlusif > constrictif > approximant (figure II.3.3).

En revanche, c'est la différence de contacts latéraux de la consonne /l/ qui permet de la distinguer isolément des autres occlusives linguopalatales antérieures.

Les voyelles étant des segments plus ouverts, l'EPG n'offre pour la plupart d'entre elles qu'une information relativement pauvre. Il est logique que moins l'articulation est fermée et antérieure, moins il permet d'en rendre compte (figure II.3.4). Ainsi, seules les voyelles antérieures et/ou fermées /i, y, e, ε, u/ montrent des contacts EPG importants.



**Figure II.3.4** - Image EPG du contact linguopalatal maximal pour les voyelles orales du français en contexte /p\_p/ [locY]

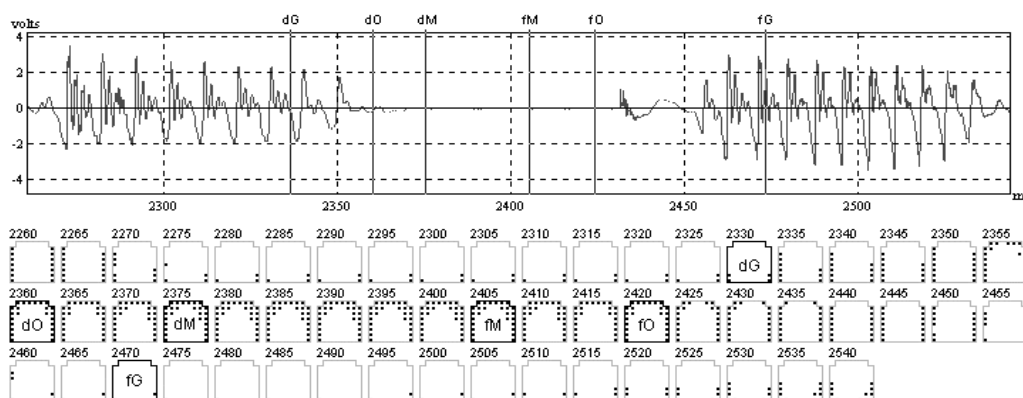
Plus globalement, l'EPG renseigne sur l'amplitude des gestes linguopalataux. L'étendue de l'aire de contact EPG est indirectement un indice de l'élévation des différentes parties de la langue dans la cavité buccale. Plus la langue est élevée, plus le contact linguopalatal est important, central et antérieur. Cette information est assez fine pour rendre compte, par exemple, de l'influence ténue du voisement sur l'articulation linguopalatale des consonnes (Engstrand 1989, Dagenais et al. 1994, Moen & Gram-Simonsen 1997).

Le degré de contact linguopalatal (en termes de nombre d'électrodes EPG contactées) est essentiel pour appréhender les phénomènes de variations articulatoires et coarticulatoires en fonction d'un certain nombre de facteurs tels que le contexte phonétique, le débit, le style de parole, la position syntagmatique, l'accent ou la structure prosodique.

## 1.2. Informations temporelles

Le signal EPG ne fournit pas seulement des informations spatiales sur les gestes linguopalataux, mais permet également de saisir leur évolution temporelle. Extraire l'information temporelle suppose d'identifier des événements articulatoires discrets et de reconstruire leur chronologie (Marchal et al. 1995).

Même si l'EPG ne saisit pas le début et la fin des mouvements d'élévation et d'abaissement de la langue, ne rendant compte que des contacts de la langue avec le palais dur, il permet une observation des différentes phases de la constriction linguopalatale. Trois phases articulatoires sont communément identifiées (figure II.3.5) : la phase de constriction linguopalatale, celle de la constriction la plus étroite (allant jusqu'à la fermeture complète pour les occlusives) et la phase de contact linguopalatal maximal (temps pendant lequel la langue est la plus élevée).



**Figure II.3.5** - Segmentation EPG de /t/ en contexte /(t)a\_a(k)/. Le début (d) et la fin (f) de chaque phase linguopalatale (G pour geste, O pour occlusion et M pour maximum de contacts) sont indiqués sur l'oscillogramme et le signal EPG [locY]<sup>38</sup>

L'étude du timing intra et inter-gestuel repose sur l'évolution spatio-temporelle de ces différents événements EPG.

Ainsi, par exemple, l'analyse du timing des phases d'occlusion, de constriction maximale et du relâchement permet de distinguer clairement les affriquées, des occlusives et des fricatives. Les travaux de Fletcher (1989), Mair et al. (1996), et Corneau (1998) montrent que les affriquées ne sont pas des concaténations d'une occlusive et d'une fricative. Elles constituent des segments à part entière du fait d'une phase occlusive et d'une phase fricative plus courtes comparées à celles des occlusives et fricatives correspondantes, d'un allongement de leur relâchement par rapport à l'occlusive, et de la fusion du lieu d'occlusion et de friction.

De même, Recasens (1984) montre que l'évolution spatio-temporelle des contacts linguopalataux permet de confirmer l'intégrité segmentale en catalan de /ɲ/ et de /ʎ/, comparés respectivement aux séquences /nj/ et /lj/.

L'EPG permet également d'observer la coordination inter-segmentale, notamment relative à la coproduction dans les groupes de consonnes linguopalatales antérieures-postérieures ou postérieures-antérieures (Hardcastle & Roach 1977, Marchal 1983, 1985, Hardcastle 1985).

L'EPG est une instrumentation privilégiée pour appréhender les phénomènes de coproduction et de coarticulation linguopalatale<sup>39</sup>.

## 1.3. Les limites de l'EPG

<sup>38</sup> Pour une réflexion sur l'étiquetage et la détermination des critères de segmentation du signal EPG, cf. Nicolaidis et al. (1993b), Marchal et al. (1995) et Parlangeau (1996).

<sup>39</sup> Pour une bibliographie thématique détaillée, cf. Nicolaidis et al. (1993a), Gibbon & Hardcastle (1997).



L'EPG montre cependant un certain nombre de limites bien identifiées. Tout d'abord, basiquement, il limite le nombre de sujets d'une étude, du fait que le palais artificiel est propre à chaque locuteur et relativement coûteux.

Outre cela, les limites principales de l'EPG tiennent aux faits que le palais artificiel peut perturber l'articulation et qu'il offre une fenêtre d'observation réduite des mouvements de la langue (Hardcastle 1972, Engstrand 1989).

### **1.3.1. Interférences provoquées par le palais artificiel**

Les compensations articulatoires dues au palais artificiel concernent la réduction du feedback sensoriel et la modification de la configuration buccale.

Le palais dur étant complètement recouvert par le palais artificiel, la muqueuse palatine ne renvoie plus de feedback sensoriel. Les sensations linguopalatales sont réduites aux seules informations tactiles et proprioceptives de la langue.

Cependant, selon Hardcastle (1972), la muqueuse du palais dur est une région relativement peu innervée. Sa relative pauvreté en ressources tactiles ne lui permettrait pas de jouer un rôle essentiel dans l'articulation linguopalatale. La grande majorité des informations tactiles et proprioceptives est émise par les capteurs sensoriels de la langue (Hardcastle 1976), ce qui permettrait de compenser quasi totalement la perte des informations palatines (Fletcher 1992). Celles-ci paraîtraient donc suffisantes pour ne pas occasionner de gênes et de perturbations articulatoires excessives.

D'un autre côté, l'intrusion d'un palais artificiel entraîne nécessairement des compensations du fait de la réduction de la cavité buccale. Même minime, l'abaissement du palais dur (typiquement de 1 à 1,5 mm) impose de nouveaux repères interférant avec l'articulation habituelle. Le zézaïement de la prononciation qui suit l'insertion du palais en est un indice constant, et sa disparition, après un temps d'adaptation, est signe d'une compensation articulatoire opérée par le sujet.

Sur le plan articulatoire, Hamlet & Stone (1976) montrent que les réajustements provoqués par l'insertion de ce corps étranger concernent non seulement les mouvements de la langue, mais également ceux de la mâchoire et du larynx et qu'ils sont très variables selon les sujets.

Concernant les voyelles, les adaptations acoustiques et articulatoires opérées par les sujets restent largement imprévisibles. Si la position de la mandibule inférieure tend à approcher une position proche de la normale après 15 mn d'adaptation, ce n'est pas le cas du larynx.

Bien que l'ajustement adaptatif soit très rapide (dès les premières productions), des traces de compensation incomplète restent perceptibles même après une à deux semaines d'adaptation (Hamlet & Stone 1976, 1978, Hamlet 1984).

Les études de Hamlet & Stone (1978) et Hamlet (1984) sur les perturbations spatiales montrent qu'elles concernent la plupart des consonnes linguopalatales. Elles sont réalisées avec une constriction plus extrême dans la condition avec palais artificiel (overshoot), leur lieu d'articulation ne subissant que peu ou pas de changement. Pour tous les sujets, la consonne la plus affectée reste la fricative /s/, dont le chenal rétrécit selon l'épaisseur du palais.

L'étude la plus complète sur les conséquences acoustiques et perceptives du port d'un palais artificiel est celle menée par McFarland et al. (1996). Ce travail montre que si certaines modifications spectrales (fréquence du bruit d'explosion ou de friction) sont significatives pour /t/, /k/ et /s/, après une adaptation de 15 mn, cet effet n'est durable que pour /s/.

D'un point de vue perceptif, l'identification et la qualité des segments ne sont pas significativement affectées par le port du palais après cette période d'adaptation, rejoignant en ce sens les remarques de Kozhevnikov & Chistovich (1965).

Seules les caractéristiques acoustiques et perceptives de /s/ restent significativement distinctives pour la condition avec un palais artificiel de 3 à 6 mn d'épaisseur, même après une durée d'adaptation de 15 à 60 mn (Baum & McFarland 1997). Ces résultats confirment le caractère hautement critique de la constriction pour ce segment (Flege et al. 1988).

Concernant, la temporalité des segments, il apparaît que leur durée n'est pas significativement

influencée par le port d'un palais artificiel (Hamlet & Stone 1978, McFarland & al. 1996).

Si ces études montrent que des modifications significatives dans l'articulation des différents segments sont entraînées par le port d'un palais, elles font surtout apparaître que leurs conséquences acoustiques et perceptives disparaissent quasi complètement après une courte période d'adaptation au port du palais (15 mn), /s/ excepté.

De plus, il est important de noter, que ces études utilisent des palais d'une épaisseur de 3 à 6 mm dans la zone alvéolaire, ce qui est au moins deux fois supérieur à celle des palais EPG. D'ailleurs, pour Hamlet & Stone (1978) un palais de 1 mm d'épaisseur sert de référence à une articulation « *sans palais* ».

Dès lors, on peut estimer que les variations articulatoires, acoustiques et perceptives, dues aux compensations inévitablement entraînées par le port du palais artificiel, restent dans une plage tout à fait acceptable, après une courte période d'adaptation.

### 1.3.2. Une fenêtre d'observation articulatoire réduite

Une autre limitation plus importante concerne le fait que l'EPG n'offre qu'une information partielle du contact linguopalatal du fait du recouvrement discret du palais par les électrodes. Leur emplacement et leur nombre peuvent avoir des incidences non négligeables sur les mesures effectuées. Ainsi, par exemple, Dagenais et al. (1994) montrent que les consonnes voisées ont un contact EPG plus important que leurs pendants non voisés (/t/ versus /d/). Ces résultats sont infirmés par les travaux d'Engstrand (1989) et Moen & Gram-Simonsen (1997) qui rendent compte de l'inverse. Outre que ces travaux portent sur des langues différentes, l'influence du type de palais artificiel utilisé n'y est peut-être pas non plus étrangère. Le palais Kay, utilisé par Dagenais et al., offre une zone de recouvrement plus importante et une granularité plus fine que celui de Reading utilisé dans les deux autres études.

A ce propos, Fougeron, Meynadier & Demolin (2000) ont montré, à travers la comparaison expérimentale des palais de Reading et de Kay, que plus le nombre d'électrodes, leur aire de recouvrement et leur densité étaient importants, plus le taux de distinctions statistiquement significatives entre /l, n, s, k, y, u/, à partir de leur patron de contacts linguopalataux, était élevé. Le palais de Reading se montrait moins performant pour les zones palatale et vélaire. Ces résultats suggèrent donc que la granularité du recouvrement du palais par les électrodes n'est pas une question totalement anecdotique.

Reste que la limite la plus importante tient au fait que l'EPG n'offre qu'une fenêtre réduite d'analyse et d'observation des mouvements de la langue. Cette limitation entraîne inmanquablement une perte d'informations spatiales et temporelles sur les gestes linguaux.

En effet, l'EPG ne permet pas une observation directe des mouvements de la langue. Ne rendant compte que de la portion du geste lingual concernée par le contact avec le palais dur, il est donc impossible avec l'EPG de saisir l'initiation des mouvements et le terme d'élévation et d'abaissement de la langue. De ce fait, la dynamique articulatoire observable est réduite et les mesures directes de vitesse et de déplacement vertical inenvisageables.

Une autre restriction tient au fait que l'EPG offre une information linguopalatale dissymétrique (Fougeron et al. 2000). La zone postérieure fournit des renseignements relativement plus pauvres comparée à la zone antérieure. La rangée EPG la plus postérieure ne correspond qu'à la partie avant du lieu d'articulation vélaire (figure II.3.2).

Il en résulte qu'en contexte de voyelles postérieures et/ou ouvertes, les consonnes vélaires /k, g/ présentent une occlusion incomplète sur le signal EPG du fait d'une postériorisation du lieu d'articulation ou d'une réduction du geste d'élévation du dos de la langue.

Malgré ces limitations techniques, l'EPG est une instrumentation de choix pour étudier l'articulation et la coarticulation des segments linguopalataux. Cela tient principalement au fait qu'elle offre une représentation « dynamique » du contact linguopalatal dans un plan à trois dimensions : coronale, sagittale et temporelle.

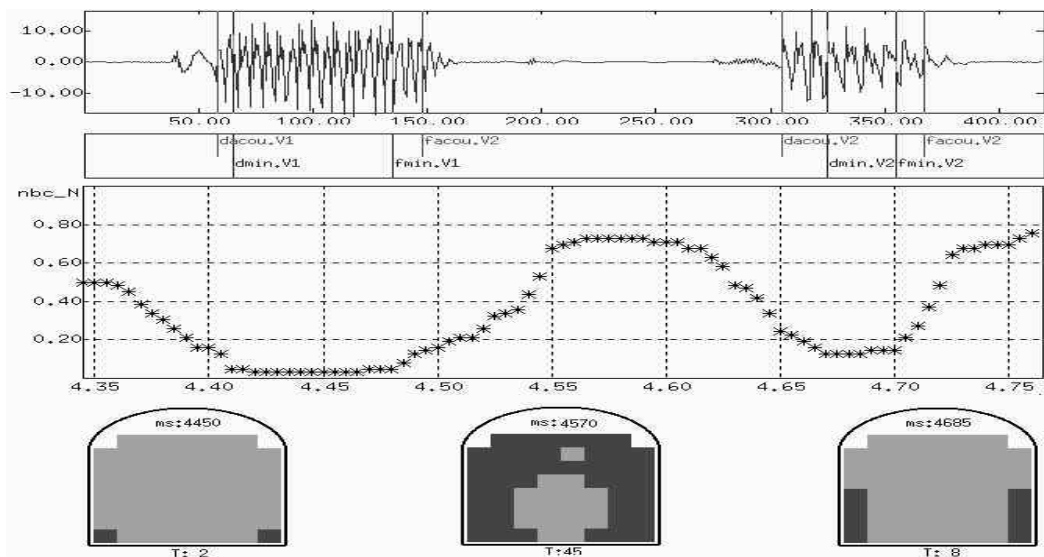
## 2

### La méthode d'analyse électropalatographique

Dans cette partie nous présentons la méthode de segmentation et d'étiquetage EPG des différentes phases articulatoires vocaliques et consonantiques et les mesures articulatoires effectuées à partir de cette segmentation du signal EPG.

#### 2.1. La segmentation EPG de la séquence VC#CV

La segmentation EPG consiste à repérer et à étiqueter des événements articulatoires discrets dans l'évolution spatio-temporelle des contacts<sup>40</sup> linguopalataux (cf. §II.3.2-1.1.2). Cette segmentation repose sur l'examen des courbes d'évolution spatio-temporelle des contacts EPG sur tout le palais, ou seulement sur certaines zones articulatoires, typiquement avant ou arrière (figure II.3.7 et II.3.8). Les courbes d'évolution spatio-temporelle des contacts selon ces zone EPG sont communément appelées « profils de contacts » (Hardcastle et al. 1991).



**Figure II.3.6** – Segmentation EPG de la phase d'ouverture linguopalatale maximale des voyelles V1 et V2 à partir du profil de contacts EPG (calculé sur tout le palais) : « *Ma grand-mère a eu une attaque ? Tatiana le sait pas .* » (locY). En bas à gauche : contact EPG minimal dans V1 (accentuée) ; au centre : contact EPG maximal dans /kt/ ; à droite : contact EPG minimal dans V2. Mesuré au milieu de la tenue linguopalatale

Pour la voyelle, toutes les électrodes du palais ont été prises en compte. Pour les consonnes, des zones spécifiques de calcul du taux de contacts EPG et des zones particulières de segmentation ont été déterminées selon leur lieu d'articulation.

##### 2.1.1. La segmentation des voyelles

Nous avons délimité la phase d'ouverture linguopalatale maximale des voyelles pré- (V1) et post-consonantique (V2), entre leur fin et leur début acoustique (figure II.2.1). Cette phase correspond à la période de l'articulation vocalique où la langue est la plus basse dans la cavité buccale, se traduisant par un taux de contacts EPG minimal. La segmentation de cette phase repose sur l'inspection visuelle du profil de contacts EPG sur la totalité du palais.

Son début (**dmin.V1** ou **dmin.V2**) est étiqueté au moment initial où un minimum de contacts EPG est

<sup>40</sup> Un contact EPG correspond à l'activation par la langue d'une électrode du palais artificiel.

repéré dans la voyelle. Sa fin (**fmin.V1** ou **fmin.V2**) correspond à la dernière image montrant ce minimum de contact.

Nous avons appliqué un degré de liberté d'un contact à ce minimum EPG afin de prendre en compte une certaine « instabilité » dans la tenue de l'ouverture linguopalatale vocalique, ne correspondant pas à son relâchement articulaire.

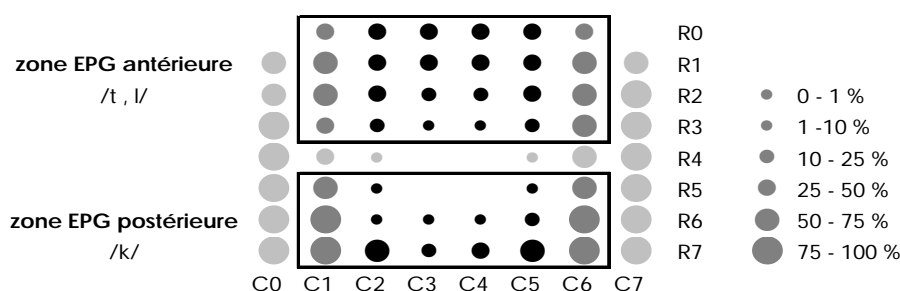
La figure II.3.6 illustre la segmentation des voyelles de la séquence V1C#CV2.

## 2.1.2. La segmentation des consonnes

Les prises de mesures spatiales et temporelles des gestes linguopalataux consonantiques reposent sur la détermination de quatre zones EPG différentes.

### 2.1.2.a. Les zones EPG

Deux zones EPG concernent le calcul du taux de contacts EPG, relatif à l'amplitude de la constriction linguopalatale, l'une pour les consonnes antérieures /t, l/, l'autre pour la postérieure /k/. Les deux autres zones EPG ont une fenêtre d'analyse plus restreinte et concernent la segmentation temporelle des différentes phases articulaires des consonnes antérieures et postérieures. Ces zones sont présentées dans la figure II.3.7 ci-dessous.



**Figure II.3.7** – Zones EPG antérieures (encadré du haut du palais) et postérieure (encadré du bas du palais) comprenant la zone de segmentation (dans l'encadré : électrodes en noir) et la zone de calcul du taux de contacts EPG (dans l'encadré : électrodes en gris foncé et en noir) déterminées à partir du cumul de contacts EPG sur tous les items, tous groupes de consonnes et locuteurs confondus. Les électrodes en gris claires sont exclues des deux types de zones

Les zones ont été déterminées à partir du cumul des contacts EPG. Ce cumul correspond à la somme des contacts sur tout le palais pour toutes les trames (images) EPG comprises entre la fin du minimum de contact linguopalatal de V1 et le début du minimum de contact de V2 de tous les items, tous groupes de consonnes et locuteurs confondus.

Les zones antérieure et postérieure « hermétiques » sont définies de façon à isoler au maximum les aires d'articulation des consonnes selon leur lieu d'articulation. Du fait que nous étudions le timing dans les groupes de consonnes linguopalataux, il est nécessaire de ne prendre en compte que les électrodes participant à un type de consonne. Nombre d'entre elles sont en effet partagées par les deux gestes, antérieur et postérieur, notamment s'agissant des appuis latéraux sur le palais dur.

Nous avons donc exclu tout d'abord les électrodes des deux colonnes latérales (C0) et (C7), puisqu'elles étaient partagées par les gestes consonantiques antérieurs, /t, l/, et postérieur, /k/. En effet, leur taux d'activation est compris entre 75 et 100 %, ce qui indique une fréquence de contact élevée, du fait qu'elles sont actives pour les deux types de gestes linguopalataux.

Les électrodes non latérales appartenant à la rangée palatale centrale, R4, ont également été exclues des zones EPG des deux types de consonnes. Bien que la fréquence de contacts n'est pas très élevée, les inspections visuelles et la segmentation ont montré que, dans l'enchaînement C1C2, il était très souvent impossible de rattacher spécifiquement ces électrodes à /t, l/ ou à /k/. Elles apparaissent donc être partagées. Cette exclusion de R4 permet ainsi de renforcer l'étanchéité articulaire des zones EPG spécifiées.

Puis, nous avons déterminé les zones de segmentation EPG, antérieure et postérieure, sur le même principe. Du fait que les électrodes des colonnes C1 et C6 montraient un taux équivalent à celui des colonnes latérales, elles ont été exclues pour les mêmes raisons de la zone de segmentation de la consonne /k/.

Les électrodes des colonnes C1 et C6 ont également été exclues de la zone EPG de /t, l/, même si leur taux d'activation est moins important, afin d'éviter une dissymétrie temporelle entre geste linguopalatal antérieur et geste postérieur. En effet, des zones dissymétriques auraient favorisé une apparition des gestes antérieurs plus précoce et une disparition plus tardive par rapport au geste postérieur. Cette disparité aurait nécessairement provoqué des différences biaisées de durée entre les gestes, non du fait de leur durée intrinsèque, mais de la prise de mesure.

Enfin, nous avons défini des zones particulières pour le calcul du taux de contacts linguopalataux, relatif à l'amplitude de la constriction consonantique. Ce taux concerne exclusivement les mesures spatiales et spatio-temporelles, et non les mesures temporelles.

Ces zones correspondent à une extension latérale des zones de segmentation des consonnes. Ainsi, les colonnes C1 et C6 ont été réintégrées afin de permettre une variation plus importante des gestes dans la dimension spatiale. Cela concerne surtout les consonnes antérieures pour lesquelles les électrodes des colonnes C1 et C6 montrent un taux d'activation de 25 à 75 %, indiquant qu'elles ne sont pas, ou beaucoup moins, partagées avec la consonne postérieure.

Concernant /k/, la prise en compte de ces électrodes ne devrait pas apporter de gain dans le degré de variation de l'amplitude des gestes. En effet, elles sont quasi toujours contactées, montrant un taux d'activation compris entre 50 et 75 %, pour les électrodes les plus antérieures (R5) et entre 75 et 100 %, pour les plus postérieures (R6/R7).

### **2.1.2.b. L'étiquetage des phases articulatoires**

Cinq phases articulatoires ont été segmentées s'agissant de l'articulation des consonnes C1 et C2. Ces phases consonantiques sont relatives au geste, à la fermeture, à la tenue, à l'ouverture et à l'occlusion linguopalatales.

La segmentation des quatre premières repose sur l'examen du profil de contacts EPG effectué à partir du taux de contacts, image par image, dans la zone de segmentation de la consonne (antérieure ou postérieure). Ainsi, quatre étiquettes délimitant ces quatre phases ont été posées pour chaque consonne. Elles répondent aux critères suivants (C pour C1 ou C2, selon la consonne considérée) :

- (1) **d.C** : début de la consonne (geste de constriction linguopalatale), identifié par la première image EPG montrant au moins un contact dans sa zone de segmentation
- (2) **dmx.C** : début de la tenue consonantique, identifié par la première image montrant le taux de contacts le plus élevé dans la consonne
- (3) **fmxC** : fin de la tenue de la consonne, identifiée par la dernière image montrant le taux de contacts EPG maximal
- (4) **f.C** : fin de la consonne, identifié par la dernière image montrant au moins un contact EPG.

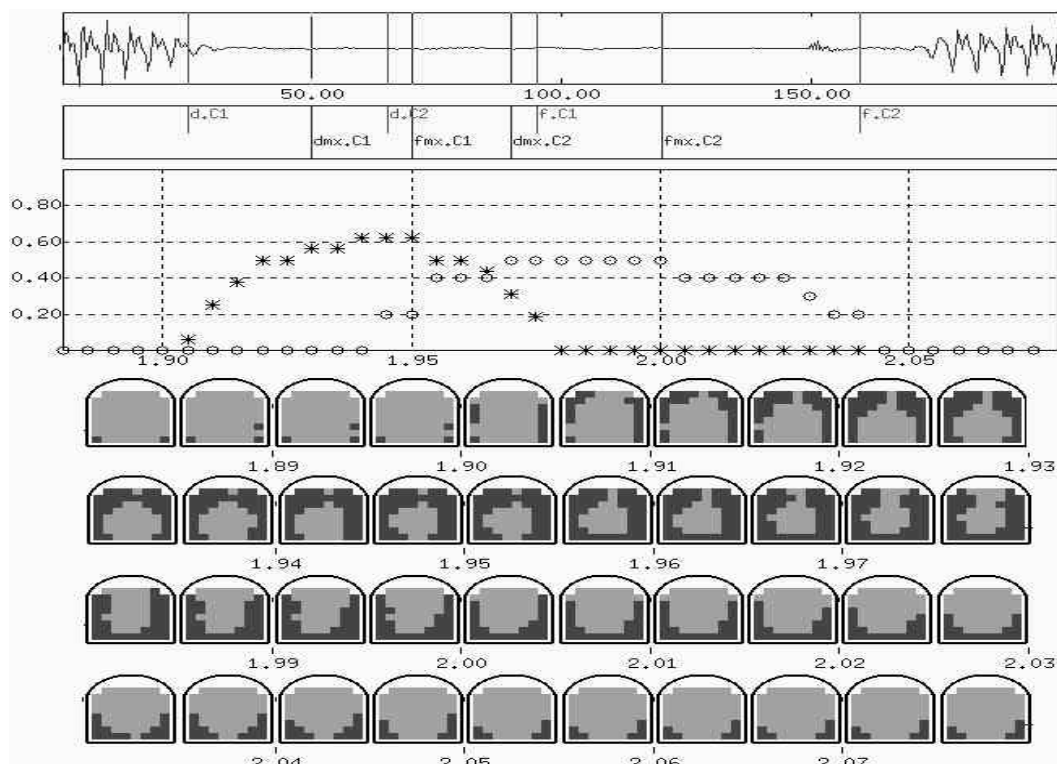
Ainsi, le geste de constriction linguopalatale (c'est-à-dire la consonne) est délimité par *d.C* et *f.C*, la phase fermeture par *d.C* et *dmx.C*, la phase de tenue (ou constriction linguopalatale maximale) par *dmx.C* et *fmxC*, et la phase d'ouverture par *fmxC* et *f.C*.

Comme pour la voyelle, un degré de liberté d'un contact EPG a été appliqué pour la segmentation de la phase de tenue des consonnes antérieures /t, l/, afin de ne pas interpréter une légère variation locale comme un relâchement.

De plus, dans certains cas, un plateau bas final de contacts EPG pouvait perdurer pendant toute l'articulation de la consonne suivante, voire même jusqu'au début de la voyelle post-consonantique (V2). Dans ces cas, nous avons localisé invariablement la fin de la consonne (*f.C*) à la troisième image à partir du début de ce plateau. Ce phénomène montre que la zone EPG postérieure de segmentation n'était pas totalement « étanche », et qu'un contact d'appui de la consonne antérieure suivante pouvait parfois apparaître.

La figure II.3.8 illustre cette segmentation EPG pour les phases de constriction, de fermeture, de tenue

et d'ouverture linguopalatales.



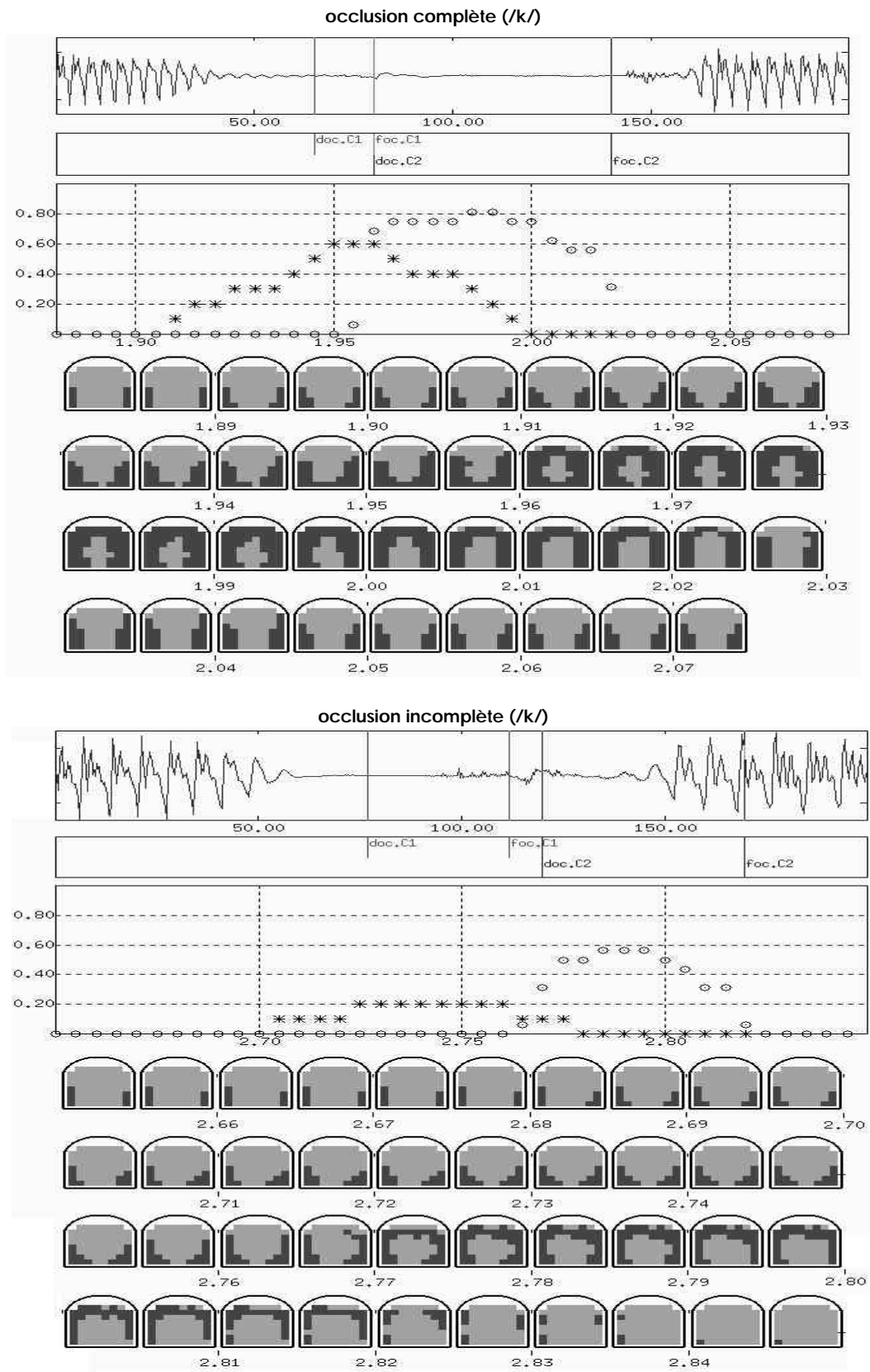
**Figure II.3.8** – Segmentation EPG du geste de constriction et de la tenue linguopalatale, à partir des profils de contacts EPG calculé dans la zone de segmentation de la consonne, antérieure (C1 : /t/) ou postérieure (C2 : /k/) : «*La réponse de la candidate, Camélia la connaît .* » (locC)

La segmentation de la phase d'occlusion repose sur l'inspection visuelle des images EPG comprises entre le début et la fin EPG dans zone de segmentation de la consonne. Les critères de segmentation de cette phase sont les suivants :

- (1) **doc.C** : début de l'occlusion EPG de la consonne, identifié par la première image montrant un barrage complet vertical (coronal) des contacts. Dans les cas d'occlusions incomplètes, l'étiquette est posée à la première image montrant une centralité coronale maximale des contacts.
- (2) **foC.C** : fin de l'occlusion EPG, identifiée à la dernière image montrant un barrage complet ou une centralité coronale maximale des contacts.

Les cas d'occlusion incomplète concernent presque essentiellement /k/ dont l'EPG ne permet de visualiser que la partie antérieure du lieu d'articulation, surtout dans les groupes /kl/ et /kt/, caractérisés par une postériorisation de /k/ (cf. §III.2:2.3.3 et figure III.2.23).

La figure II.3.9 illustre la segmentation de cette phase.



## 2.2. Les items écartés de l'analyse articulatoire

Après la segmentation EPG, un certain nombre d'items ont été écartés de l'analyse articulatoire du fait d'une occlusion très incomplète de l'une des deux consonnes. Nous avons exclu de l'analyse les items pour lesquels aucune ou seule une électrode était contactée dans la zone de segmentation de la consonne (occlusion « non visible »).

En effet, dans ces cas, nous avons estimé que l'articulation linguopalatale n'est pas suffisamment visible pour être réellement observée, du fait d'une postériorisation (/k/) ou d'une réduction trop importante de l'amplitude du geste de constriction (/k/ ou /l/). Ces cas sont cependant rares et concernent principalement la consonne /k/ produite en position C1 dans le groupe /kl/.

Seul 1 cas chez locC et 2 chez locM sont relatifs à la consonne /l/ dans le groupe /lk/. Aucun cas ne concerne la consonne /t/ pour aucun des locuteurs. Seulement 3 occlusions non visibles de /k/ dans /kt/ sont rapportées pour locY et 4 s'agissant de /k/ dans /lk/ pour locC.

Les cas les plus nombreux d'occlusion EPG non visible apparaissent pour /k/ dans /kl/ : 12 pour locC, 17 pour locM et 8 pour locY sur l'ensemble des items les concernant. Néanmoins, ils restent rares puisqu'ils ne représentent respectivement que 4,3 % des productions de locC, 3,7 % de celles de locM et 1,8 % de celles de locY.

Ainsi, les 47 items, présentant des consonnes dont l'occlusion EPG était insuffisamment visible sur le signal, ont été retirés de l'analyse articulatoire et donc de la prise de mesure.

## 2.3. Les mesures et les indices EPG

L'analyse articulatoire repose sur des mesures effectuées sur le signal EPG. Trois types de mesures ont donc été réalisées : des mesures relatives à la temporalité des gestes, telles que la durée et la proportion des différentes phases articulatoires, des mesures relatives à la spatialité des gestes, c'est-à-dire à l'amplitude, à la localisation et à la centralité des constriction linguopalatales et des mesures concernant leur profil spatio-temporel.

L'amplitude des constriction (*degré* ou *taux de contacts EPG*) est exprimée par le pourcentage d'électrodes contactés dans la zone EPG concernée. La localisation et la centralité médio-sagittale sont calculées par des indices EPG particuliers.

Ces mesures concernent l'articulation des différents segments individuels consonantiques et vocaliques composant la séquence VC#CV observée, la coarticulation entre les segments contigus, VC#, C#C et #CV et non contigus, V1#C2 et C1#C2, où V = V1 ou V2 et C = C1 ou C2 selon la séquence concernée.

### 2.3.1. Mesures intra-segmentales

Les mesures intra-segmentales se rapportent à l'articulation individuelle des voyelles V1 et V2 (/a/), et des consonnes C1 et C2 (/k/, /l/ ou /t/).

#### 2.3.1.a. Les mesures vocaliques

Trois mesures temporelles et une spatiale concernent les articulations vocaliques.

Les mesures temporelles concernent

***dur.voy*** : la durée acoustique de la voyelle ( $f.V - d.V$ )

***dur.min*** : la durée de l'ouverture linguopalatale maximale, c'est-à-dire de la période montrant un minimum de contact EPG ( $fmin.V - dmin.V$ )

***pct.min*** : la durée relative d'ouverture linguopalatale maximale de la voyelle, ( $dur.min/dur.voy*100$ ).

La mesure spatiale concerne

***mct.min*** : l'amplitude maximale d'ouverture vocalique, c'est-à-dire la moyenne du degré de contact EPG de l'ouverture linguopalatale maximale.



### 2.3.1.b. Les mesures consonantiques

L'analyse articulatoire des consonnes individuelles repose sur onze mesures temporelles, quatre spatiales et trois spatio-temporelles.

Les mesures temporelles concernent

**dur.cs** : le durée EPG de la consonne ( $f.C - d.C$ )

et la durée de différentes phases articulatoires (EPG) intra-consonantiques :

**dur.fer** : la fermeture EPG ( $dmx.C - d.C$ )

**dur.max** : la constriction EPG maximale ( $fmxC - dmx.C$ ) correspondant à la phase montrant le plus grand nombre de contacts EPG

**dur.occ** : l'occlusion EPG ( $foc.C - doc.C$ )

**dur.ouv** : l'ouverture EPG ( $f.C - fmxC$ )

**pct.fer, pct.max, pct.occ, pct.ouv** : la durée relative de ces quatre phases articulatoires ci-dessus dans la consonne

**sym.cs** : la symétrie temporelle de la consonne ( $(dur.ouv - dur.fer)/dur.cs * 100$ )

**sym.occ** : la symétrie temporelle de l'occlusion ( $(durée\ du\ relâchement - durée\ de\ l'approche)/dur.cs * 100$ ), où l'*approche* de l'occlusion de la consonne renvoie à la phase d'établissement de l'occlusion ( $doc.C - d.C$ ) et son *relâchement* à celle de l'explosion ( $f.C - foc.C$ ).

Pour ces deux dernières mesures, une valeur égale à 0 signifie que l'articulation est temporellement symétrique. Plus la valeur est inférieure à 0, plus l'articulation est dissymétrique vers la gauche (fermeture) ; plus elle est supérieure à 0, plus elle est dissymétrique vers la droite (ouverture).

Les mesures spatiales sont relatives à

**mct.max** : l'amplitude maximale de contact linguopalatal de la consonne (moyenne du degré de contact EPG de la phase de constriction maximale)

**iAP** : l'*Indice d'Antériorité* (iA) et l'*Indice de Postériorité* (iP), respectivement pour /l, t/ et pour /k/. Ils fournissent une localisation chiffrée du lieu d'articulation linguopalatale de la consonne. Ils sont mesurés au début de la phase de constriction maximale ( $dmx.C$ ) (cf. §II.3:2.3.3.a)

**iC** : l'*Indice de Centralité*. Il informe sur la centralité des contacts EPG linguopalataux dans la zone médio-sagittale. Il est mesuré au début de la phase de constriction maximale de la consonne (cf. §II.3:2.3.3.b)

**DAP** : le déplacement du lieu d'articulation lors de la phase d'occlusion, calculé par la différence entre la valeur de *iA* ou de *iP* au moment du relâchement de l'occlusion et celle au début de l'occlusion. Plus *DAP* est grand, plus le déplacement est important. Le signe de la valeur indique le sens du déplacement : une valeur négative indique que le geste est relâché par un déplacement vers la périphérie, c'est-à-dire une postériorisation pour /k/ et une antériorisation pour /l/ ou /t/. Une valeur positive signale un relâchement de l'occlusion par palatalisation.

Les mesures spatio-temporelles sont les suivantes

**reduc.cs** : le cumul des taux de contacts EPG de la consonne. Il renseigne sur le degré de réduction globale de l'articulation linguopalatale. Plus sa valeur est basse, plus le geste consonantique est réduit en termes temporel et spatial

**vct.fer, vct.ouv** : la vitesse de fermeture et d'ouverture linguopalatales de la consonne respectivement :  $(YdmxC - YdC)/dur.fer$  et  $(YfC - YdmxC)/dur.ouv$ , où *Y* = taux de contacts EPG. Ces mesures fournissent un indice de la rapidité avec laquelle la constriction linguopalatale s'établit ou au contraire se relâche.

### 2.3.2. Mesures inter-segmentales

Les mesures inter-segmentales concernent la coarticulation VC, CV et CC.

#### 2.3.2.a. Les mesures relatives à la coarticulation VC et CV

Vingt-cinq mesures temporelles et deux spatiales concernent respectivement les séquences

V1C1#, V1#C2, C1#V2 et #C2V2.

Les mesures temporelles sont relatives à

**dur.sq** : la durée de la séquence considérée

**Dmin.max** : la durée de l'intervalle temporel entre la phase d'ouverture maximale de V et la phase de constriction maximale de C (VC :  $dmx.C - fmin.V$  et CV :  $dmin.V - fmx.C$ )

**Dmin.occ** : la durée de l'intervalle temporel entre la phase d'ouverture maximale de V et la phase d'occlusion de C (VC :  $doc.C - fmin.V$  et CV :  $dmin.V - foc.C$ )

**Dmin.cs** : la durée de l'intervalle temporel entre la phase d'ouverture maximale de V et le geste de constriction linguopalatale de C (VC :  $d.C - fmin.V$  et CV :  $dmin.V - f.C$ )

**Dvoy.max** : la durée de l'intervalle temporel entre la fin ou le début acoustique de V et la constriction maximale de C (VC :  $dmx.C - f.V$  et CV :  $d.V - fmx.C$ )

**Dvoy.occ** : la durée de l'intervalle temporel entre la fin ou le début acoustique de V et l'occlusion de C (VC :  $doc.C - f.V$  et CV :  $d.V - foc.C$ )

**Dvoy.cs** : la durée de l'intervalle temporel entre la fin ou le début acoustique de V et le geste linguopalatale de C (VC :  $d.C - f.V$  et CV :  $d.V - f.C$ )

**Pmin.max, Pmin.occ, Pmin.cs, Pvoy.max, Pvoy.occ, Pvoy.cs** : chacun des six intervalles temporels inter-VC ou inter-CV ci-dessus est rapporté à la durée de la phase concernée de C. Ces mesures informent sur la latence relative des gestes articulatoires vocaliques par rapport aux consonantiques.

**Pmax.min, Pocc.min, Pcs.min, Pmax.voy, Pocc.voy, Pcs.voy** : chacun des mêmes six intervalles temporels inter-VC ou inter-CV est rapporté à la durée de la phase concernée de V. Ces mesures informent sur la latence relative des gestes articulatoires consonantiques par rapport aux vocaliques.

**min.max.SQ, min.occ.SQ, min.cs.SQ, voy.max.SQ, voy.occ.SQ, voy.cs.SQ** : proportion des différents intervalles temporels (présentés ci-dessus), c'est-à-dire rapportés à la séquence considérée.

Pour toutes ces mesures inter-VC ou inter-CV, une valeur positive indique un délai articulatoire inter-gestuel (absolu : ms, ou relatif : %), une valeur négative un chevauchement inter-gestuel et une valeur nulle une synchronie entre début et fin des deux gestes.

Nous donnons ici deux exemples de valeur pour illustrer les mesures de latence relative : une valeur de *Pcs.min* de 108 % pour la séquence V1#C2 signale que le début EPG de C2 commence à 108 % après la fin de l'ouverture maximale de V1 ; une valeur de *Pvoy.cs* de -10 % pour la séquence V1C1# indique que la fin acoustique de V1 est atteinte à 10% après le début EPG de C1.

Les mesures spatiales concernent

**ctC.V** : le taux de contacts EPG de C mesuré au moment du début ou de la fin acoustique de V, pour les séquences V1C1# et #C2V2

**DctCV** : la différence entre le taux de contacts EPG de la constriction maximale de C et celui de l'ouverture maximale de V ( $mct.max - mct.min$ ). Plus la valeur est élevée, plus V est ouverte et/ou C fermée, et donc plus le contraste d'aperture CV est grand.

Les mesures spatio-temporelles concernent

**vctCV** : vitesse de changement de taux de contact EPG de CV pour V1C1 et C2V2 ( $DctCV/Dmin - max * 100$ ). Cette mesure correspond au taux de contacts moyen par ms entre l'ouverture EPG maximale de V et la constriction EPG maximale de C. Elle informe sur la vitesse de basculement de l'articulation linguopalatale entre V et C.

### 2.3.2.b. Les mesures relatives à la coarticulation CC

L'analyse de la coarticulation C1#C2 repose sur treize mesures temporelles, sept spatiales et quatre spatio-temporelles.

Les mesures temporelles sont relatives à

**dur.CC** : la durée EPG de la séquence C1#C2 ( $f.C2 - d.C1$ ).

**pctCC1, pctCC2** : la proportion de C1 ou C2 dans C1#C2.

**DCC, Dmax, Docc** : la durée de l'intervalle temporel entre les gestes linguopalataux, entre les constrictions maximales ou entre les occlusions de C1 et de C2 (respectivement  $d.C2 - d.C1$ ,  $dmx.C2 - fmx.C1$  et  $doc.C2 - foc.C1$ ).

**pctDCC, pctDmax, pctDocc** : la proportion des trois intervalles inter-CC ci-dessus dans le groupe C1#C2.

**pctDCC1, pctDmaxC1, pctDoccC1, pctDCC2, pctDmaxC2, pctDoccC2** : la proportion des trois mêmes intervalles inter-CC dans C1 ou C2.

Comme pour les mesures inter-segmentales VC/CV, une valeur négative exprime un chevauchement articulatoire inter-gestuel, une valeur positive un délai inter-gestuel et une valeur nulle une synchronie entre C1 et C2. Ces mesures indiquent donc le degré de coproduction articulatoire des gestes, des constrictions maximales et des occlusions dans la séquence C1#C2, dans C1 et dans C2.

Les mesures spatiales concernent

**DAP** : la distance entre les lieux d'articulation des deux consonnes, calculée par la somme de l'*Indice d'Antériorité* (iA) et l'*Indice de Postériorité* (iP) des consonnes du groupe. Plus les lieux d'articulation des deux consonnes sont éloignés, plus DAP est faible.

**ctC1.dmxC2, ctC1.docC2, ctC1.dC2** : le taux de contacts EPG de C1 respectivement au moment du début du geste, de la tenue maximale ou de l'occlusion de C2.

**ctC2.fmxC1, ctC2.focC1, ctC2.fC1** : le taux de contacts EPG de C2 respectivement au moment de la fin du geste de la tenue maximale ou de l'occlusion de C1.

Ces deux mesures renseignent sur le chevauchement spatial de C1 par C2 et de C2 par C1.

Les mesures spatio-temporelles sont les suivantes

**msk.C1, msk.C2** : le masquage de l'articulation de C1 par celle de C2 et de celle de C2 par celle de C1.

**msk.C1oc, msk.C2oc** : le masquage de l'articulation de C1 par l'occlusion de C2 et de celle de C2 par l'occlusion de C1.

Ces quatre mesures spatio-temporelles correspondent au cumul des taux de contacts EPG de la partie chevauchée de C1 par le geste ou l'occlusion de C2, ou inversement de la partie chevauchée spatio-temporellement de C2 par le geste ou l'occlusion de C1. Ces mesures sont exprimées en pourcentage par rapport au cumul effectué sur toute la consonne considérée.

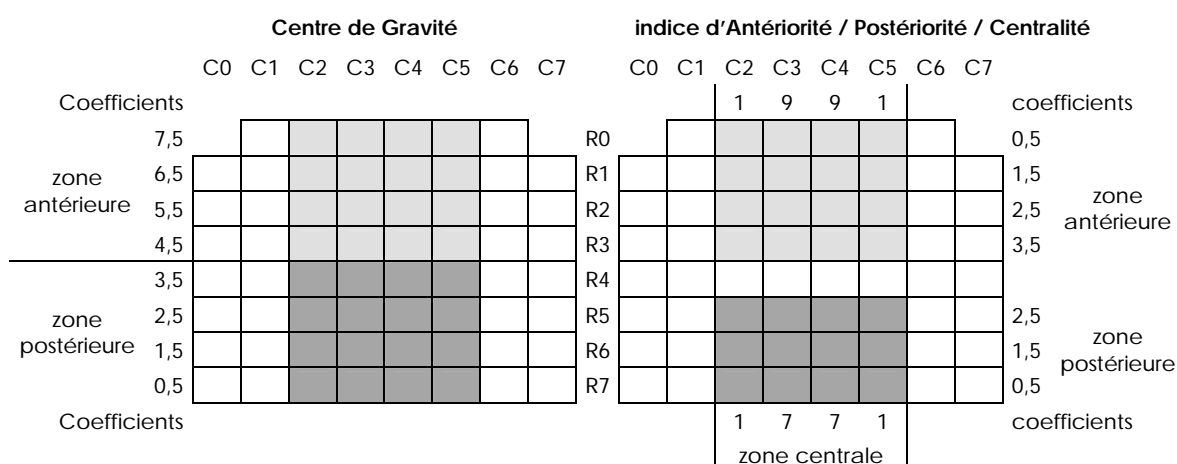
### 2.3.3. Les indices EPG

#### 2.3.3.a. Les indices d'antériorité et de postériorité du lieu d'articulation

L'*Indice d'Antériorité* (iA) et l'*Indice de Postériorité* (iP) permettent de quantifier le degré d'avancement ou de recul du lieu d'articulation des consonnes antérieures /t, l/ et postérieure /k/. iA et iP reprennent globalement le calcul du *Centre de Gravité* EPG (Hardcastle et al. 1991, Gibbon et al. 1993) avec quelques modifications quant aux zones EPG et aux coefficients appliqués aux rangées d'électrodes.

Le *Centre de Gravité* est calculé de façon séparée dans la zone antérieure, constituée par les quatre électrodes centrales (C2 à C5) des quatre rangées les plus antérieures (R0 à R3), et dans la zone postérieure, par les quatre électrodes centrales des quatre rangées les plus postérieures (R4 à R7, figure II.3.10).

Pour le calcul de iA et de iP, nous avons également exclu les quatre colonnes latérales pouvant constituer des zones d'appuis (surtout postérieures) pour la plupart des consonnes linguopalatales. Néanmoins, à la différence du *Centre de Gravité*, la zone postérieure utilisée pour le calcul de iP n'est constituée que par les trois rangées les plus postérieures du palais (R5 à R7, figure II.3.10). La rangée pré-palatale (R4) n'a été prise en compte dans aucune des deux zones EPG du fait qu'elle semble partagée par les deux types de consonnes. Ces aires correspondent donc aux zones, antérieure et postérieure, utilisées pour la segmentation des consonnes (figure II.3.7).



**Figure II.3.10 :** Zones EPG considérées (cellules grisées) et coefficients de pondération utilisés pour le calcul de l'indice d'Antériorité, de l'indice de Postériorité et de l'indice de Centralité comparés à ceux du Centre de Gravité (Hardcastle et al. 1991)

La seconde différence concerne la détermination des coefficients appliqués à chaque rangée d'électrodes.

Pour le *Centre de Gravité*, le coefficient augmente uniformément de la rangée la plus postérieure (R7) à la plus antérieure (R0).

Pour notre part, nous avons choisi d'appliquer un sens d'augmentation des coefficients inversé pour les zones antérieure et postérieure. Les coefficients diminuent plus la rangée est proche de la limite avant ou arrière du palais (figure II.3.10). Ainsi, plus les contacts EPG sont palataux, moins ils ont de poids dans chacun des deux indices.

En dehors de ces différences, le calcul de *iA* et *iP* est identique à celui du *Centre de Gravité* antérieur et postérieur. *iA* et *iP* sont calculés par la somme des contacts de chaque rangée, pondérée par le coefficient de la rangée et divisée par le nombre total de contacts de la zone EPG considérée :

$$iA = (0,5 r_0 + 1,5 r_1 + 2,5 r_2 + 3,5 r_3) / (r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + 1)$$

$$iP = (0,5 r_7 + 1,5 r_6 + 2,5 r_5) / (r_7 + r_6 + r_5 + 1)$$

où  $r_0$  représente le nombre de contacts de R0,  $r_1$  le nombre de contacts de R1, etc. (+1 évite la division par 0 en cas d'absence de contacts).

Ainsi, *iA* reflète l'antériorité du lieu d'articulation de /t, l/ : plus l'articulation est antérieure, plus *iA* est faible. *iP* indique la postériorité du lieu d'articulation de /k/ : plus son articulation est postérieure, plus *iP* est bas.

Dans cette logique, il est donc également possible par ces indices de rendre compte en partie d'une articulation dentale pour /t, l/ (figure II.3.11, patrons *f*, *g* et *h*) ou vélaire pour /k/ (figure II.3.11, patrons *k* et *l*).

Ces articulations très antérieures ou postérieures sortent des limites physiques du palais EPG. Elles se traduiront donc par un *iA* ou un *iP* de 0,38 à 0, selon le nombre décroissant de contacts dans la rangée la plus antérieure ou la plus postérieure de la zone. Afin de tenter de rendre compte de ce type d'articulation, nous avons appliqué des coefficients d'antériorité ou de postériorité décroissants des rangées palatales aux rangées les plus périphériques du palais.

La figure II.3.11 montre des patrons de contacts EPG fabriqués pour l'explication avec leur valeur *iA* ou *iP* correspondante.

### 2.3.3.b. L'indice de centralité du lieu d'articulation

Nous avons également calculé un *Indice de Centralité* (*iC*) pour les articulations consonantiques qui rend compte du degré de centralité coronale (ou inversement de latéralité) de la constriction

linguopalatale. La détermination de  $iC$  repose sur les mêmes zones EPG utilisées pour  $iA$  et  $iP$ .

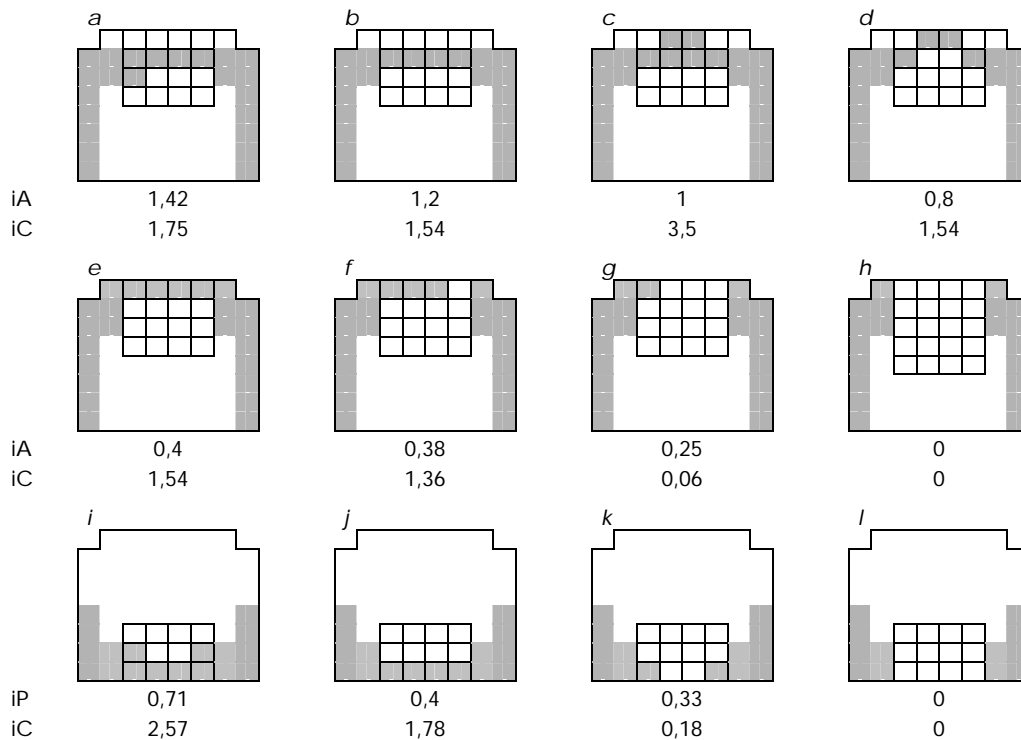
Ici, plus l'articulation est centrale, c'est-à-dire plus les contacts EPG sont centraux et nombreux, plus la valeur de  $iC$  est élevée. Le coefficient des deux colonnes les plus centrales de chacune des zones, antérieure et postérieure, est plus important que celui des deux colonnes latérales de ces mêmes zones. Du fait du placement symétrique des électrodes selon l'axe médio-sagittal, le même coefficient est appliqué aux deux colonnes centrales, de même pour les deux colonnes latérales (figure II.3.11).

La détermination des coefficients reprend ici le principe du *Contact Centrality Index* de Fontevila et al. (1994), selon lequel un seul contact sur l'une des deux colonnes centrales a toujours plus de poids que la totalité des contacts des deux colonnes latérales.

La valeur de  $iC$  correspond à la somme des contacts de chaque paire de colonnes pondérée par leur coefficient et divisée par le nombre d'électrodes non contactées, dans la zone EPG considérée :

$$iC = (c_2 + \beta c_3 + \beta c_4 + c_5) / (n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + 1)$$

où  $c_2$  représente le nombre de contacts de C2,  $n_2$  le nombre d'électrodes non contactées de C2, etc., et où  $\beta$  correspond au coefficient de pondération des colonnes centrales (nombre d'électrodes des colonnes latérales  $+1$ , figure II.3.10).



**Figure II.3.11** - Indice d'Antériorité ( $iA$ ), de Postériorité ( $iP$ ) et de Centralité ( $iC$ ) pour différents patrons EPG prototypiques de /t, l/ (lignes du haut) ou de /k/ (ligne du bas). L'aire quadrillée représente la zone EPG utilisée pour le calcul de ces indices

Différemment à  $iA$  et  $iP$ , la somme des contacts pondérée de  $iC$  n'est pas ici divisée par le nombre total de contacts dans la zone, mais par celui des électrodes non contactées. La raison tient au souhait d'un indice croissant avec le degré de centralité coronale de l'articulation.

La figure II.3.11 illustre des patrons de contacts EPG fabriqués pour l'exemple avec leur valeur  $iC$  correspondante.

## Chapitre 4

### ***La méthode statistique d'analyse des variations articulatoires en fonction des deux catégorisations prosodiques***

Dans cette partie, nous présentons la méthode statistique générale suivie pour étudier les variations articulatoires et coarticulatoires linguopalatales dans les séquences 'VC#CV en fonction des catégorisations prosodiques large et étroite. Nous cherchons plus particulièrement à savoir :

- (1) avec quel degré d'adéquation les réalisations articulatoires accompagnent le marquage prosodique de l'énoncé, d'une part en fonction de catégories prosodiques larges, déterminées par des propriétés phonétiques et fonctionnelles générales, et, d'autre part, selon des catégories prosodiques étroites, définies par des propriétés phonétiques et fonctionnelles plus détaillées ;
- (2) quels éléments dans la séquence 'VC#CV sont plus particulièrement sensibles à l'influence prosodique (articulation des voyelles et des consonnes, la coarticulation VC, VCC, CC, CV ou CCV)
- (3) quelles dimensions articulatoires (temporelle, spatiale et/ou spatio-temporelle) sont plus spécifiquement concernées.

L'étude des co-variations articulatoires fait donc l'objet d'une double analyse statistique : relative à la catégorisation prosodique large et la catégorisation étroite. Ces analyses sont conduites séparément et ce n'est qu'au terme de chacune d'elles que leurs résultats respectifs concernant les co-variations articulatoires selon le type de catégories prosodiques sont comparés.

La méthode d'analyse repose sur une démarche empirique. Nous avons réalisé un nombre important de mesures articulatoires et coarticulatoires dans la séquence. 178 mesures ont été réalisées sur chacun des items, soit au total, plus de 200 000 mesures articulatoires effectuées tous groupes, contextes prosodiques et locuteurs confondus.

Nous avons ensuite appliqué une procédure de sélection des mesures articulatoires pour ne retenir au final que celles montrant un effet des catégories prosodiques stable, systématique et robuste entre les locuteurs. Cette procédure fait appel à un processus de filtrage selon des étapes d'analyse séquentiellement ordonnées répondant à des critères statistiques. Ainsi, pour qu'une mesure articulatoire, et donc un phénomène articulatoire ou coarticulatoire précis, soit retenue, elle doit répondre à tous les critères statistiques de la procédure de sélection. Celle-ci est présentée en détails dans les pages suivantes.

Un point est à souligner. Dans cette approche globale, et peut-être « brutale », nous nous intéressons en fait essentiellement aux phénomènes les moins soumis à la variabilité inter-individuelle. Jusqu'à une certaine étape de la procédure les mesures sont analysées séparément par groupe de consonnes et par locuteur. Puis, seules les mesures soumises à l'influence systématique de la prosodie et répondant à un comportement articulatoire homogène entre les locuteurs sont retenues.

En ne prenant pas en compte les possibilités différentes d'expression des stratégies articulatoires individuelles, cette procédure présente un défaut non négligeable.

En effet, certains phénomènes articulatoires particuliers, déterminés en fin de compte par une mesure spécifique en terme de paramètres articulatoires (temporel, spatial ou spatio-temporel) et de localisation dans la séquence 'VC#CV, sont écartés parce qu'ils ne sont réalisés que par un seul des trois locuteurs.

Or, il est probable que les locuteurs n'aient pas toujours recours à la même stratégie ou qu'ils opèrent ponctuellement à des compensations ou des choix entre les paramètres articulatoires pour le marquage supralaryngé des contextes prosodiques.

Par exemple, pour le marquage articulatoire de la consonne codaique de la syllabe accentuée, le

renforcement articulatoire peut reposer sur plusieurs stratégies différentes des locuteurs : allonger la consonne, son occlusion ou l'intervalle inter-consonantique, renforcer le contact linguopalatal, réaliser un contraste d'ouverture avec la voyelle plus marqué ou réaliser une articulation plus périphérique en terme de lieu d'articulation, etc. Si, dans ce cas, les trois locuteurs montrent des manœuvres de renforcement totalement différentes (l'un produisant seulement une consonne allongée, l'autre spécifiquement une consonne plus fermée et le troisième une consonne moins chevauchée articulatoirement par la suivante), notre procédure ne permet pas d'en rendre compte, car les trois mesures concernées sont rejetées du fait du particularisme individuel. Or, les trois locuteurs manifestent une influence de la prosodie sur leur articulation, par le renforcement de la consonne codaïque, même s'il n'est pas identique inter-individuellement.

Cette limitation dans l'interprétation des phénomènes observés relève en fin de compte d'un choix de recherche entre une analyse cherchant à cerner les processus exacts et leur degré de liberté entre les sujets et une analyse plus globale qui cherche à dégager des processus « noyaux » plus généraux et moins sensibles à l'individualité des comportements linguistiques.

Nous ne proposons ici que des analyses éclatées selon les quatre groupes de consonnes, afin de neutraliser en partie l'interaction des contraintes articulatoires particulières des groupes de consonnes dans les relations entre articulation et prosodie. Sans comparer systématiquement le comportement des différents groupes, leur nature a parfois une influence évidente sur les phénomènes observés. Dans ce cas, nous effectuons une analyse comparative entre eux.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec l'environnement de tests statistiques  $R^{41}$  et le logiciel Statview<sup>42</sup>.

## 1

### ***La procédure générale de l'analyse***

L'analyse des variations articulatoires en fonction du contexte prosodique, reposant sur les catégorisations prosodiques large et étroite traitées séparément, recouvre une procédure statistique de sélection des mesures articulatoires selon cinq étapes séquentiellement organisées. Ces étapes répondent à différents critères statistiques de filtrage des mesures et concourent à établir statistiquement et inter-individuellement qu'une mesure, c'est-à-dire en fait un phénomène articulatoire (comme l'amplitude d'ouverture linguopalatale de la voyelle ou le chevauchement articulatoire inter-consonantique, par exemple), est systématiquement soumise à l'influence graduelle de la présence d'une frontière prosodique inter-consonantique de niveau hiérarchique croissant.

Nous présentons, en détails ci-dessous, chacune de ces cinq étapes dans l'ordre de leur application aux mesures. De l'étape 1 à 2, les analyses statistiques sont effectuées sur chacune des mesures pour chaque groupe de consonnes et chaque locuteur.

**Etape 1.** Dans un premier temps, une analyse de la variance selon le facteur « *catégories prosodiques* » (ANOVA à un facteur) est effectuée. Si la mesure concernée répond significativement ( $p = 0,05$ ) à l'influence du contexte prosodique, celle-ci est retenue et traitée dans l'étape suivante. Si, au contraire, elle ne remplit pas cette condition, elle est écartée définitivement de la procédure d'analyse.

**Etape 2.** Dans un second temps, l'ordre des moyennes, pour la mesure (paramètre) articulatoire retenue des catégories prosodiques considérées, est pris en compte<sup>43</sup>. Cet ordre doit répondre de façon « acceptable », c'est à dire minimale, à celui exprimé par la hiérarchie phonético-fonctionnelle des catégories prosodiques déterminée au terme de l'analyse prosodique (cf. §II.2:2.4) :

<sup>41</sup> R est un environnement de programmation pour l'analyse et la représentation graphique des données, développé par W. N Venables, D. Smith & the R Development Core Team, 2001, version 1.30. Disponible sur le site <http://cran.r-project.org>.

<sup>42</sup> Abacus Concepts Inc. Copyrights®, 1992-1996, version 4.57.

<sup>43</sup> Pour plus de commodité, nous appellerons dorénavant cet ordre la « *hiérarchie articulatoire* » des catégories prosodiques.

*INA-ACC-ICT-ICC* pour les catégories larges ; *SY-MO-AM-AS-CM-CT-TN-TM* pour les catégories étroites. L'ordre inversé est également retenu dans le cas de relation inverse entre variation articulatoire et hiérarchie prosodique.

Cette adéquation entre hiérarchie prosodique et hiérarchie articulatoire des catégories prosodiques est évaluée par une analyse de la corrélation des rangs de Spearman, qui permet de donner un indice chiffré de degré de correspondance entre deux séries ordonnées ayant un même nombre de rangs, c'est-à-dire d'éléments (Spiegel 1993) : ici, les catégories prosodiques. Nous appelons cet indice l'« *Indice de Correspondance Hiérarchique* » : soit *iHL* pour les comparaisons des mesures articulatoires avec la hiérarchie des catégories prosodiques larges, et *iHE* pour celles avec la hiérarchie des catégories prosodiques étroites.

Seules les mesures répondant à un seuil minimal d'adéquation avec la hiérarchie prosodique sont conservées, les autres sont définitivement écartées. Cette étape fondamentale est spécialement détaillée dans la paragraphe suivant.

**Etape 3** Jusqu'à ce stade les mesures articulatoires sont traitées séparément pour chacun des locuteurs. A cette étape, les résultats de chaque mesure de chacun des trois locuteurs sont confrontés. Seules les mesures retenues dans la dernière étape qui concernent au moins 2 des 3 locuteurs sont conservées dans le traitement ultérieur. Celles qui ne répondent au facteur prosodique que pour un seul des trois locuteurs sont exclues du reste de la procédure.

**Etape 4** Ici, nous prenons en considération le sens de la hiérarchie articulatoire de la mesure. Nous considérons qu'une corrélation inverse entre hiérarchie prosodique et hiérarchie articulatoire, du type *ICC-ICT-ACC-INA*, est tout à fait acceptable, traduisant le fait que le phénomène articulatoire observé réduit avec l'importance de la marque prosodique. Néanmoins, pour une mesure retenue, si un locuteur montre un sens hiérarchique inverse à celui des deux autres, ou de l'autre (s'ils ne sont déjà plus que deux), celle-ci sera définitivement exclue du reste de la procédure.

En effet, nous considérons que des résultats contradictoires ne rendent pas compte d'un processus de marquage homogène et fiable, puisqu'un contexte prosodique peut être marqué articulatoirement par un renforcement ou une réduction selon le locuteur. Comment alors penser que ce type d'indice peut, pour les mesures restantes représentées par au moins deux locuteurs, aider à identifier ou servir à marquer spécifiquement ce contexte donné.

**Etape 5** Enfin, une ANOVA identique à celle de l'étape 1, c'est-à-dire pour le facteur « *catégories prosodiques* », est effectuée, mais cette fois en mélangeant les données des deux ou trois locuteurs la représentant. Si l'effet des catégories reste significatif ( $p = 0,05$ ) pour la mesure articulatoire concernée, alors celle-ci est définitivement conservée, sinon exclue.

Ce dernier filtre est appliqué pour prévenir les cas où certes les locuteurs restant montrent individuellement un effet de la hiérarchie prosodique et articulatoire et vont dans le même sens de variation, mais où ils peuvent présenter malgré tout des répartitions des catégories relativement différentes qui peuvent se compenser. Ceci pourrait par exemple être le cas pour un locuteur montrant un ordre hiérarchique articulatoire *INA-ICT-ACC-ICC*, alors que l'autre produirait quelque chose comme *ACC-INA-ICC-ICT*. Cependant, nous nous attendons à ce que cela ne soit que rarement le cas. Ce test permet un dernier contrôle de l'homogénéité statistique des productions des locuteurs.

Finalement, les phénomènes articulatoires répondant positivement à ces cinq critères statistiques seront analysés, locuteurs confondus, par un test post hoc (PLSD de Fischer) permettant de préciser les différences statistiques entre chacune des catégories prosodiques considérées et ordonnées selon le poids croissant de la marque articulatoire exprimée par sa mesure.

La présentation linéaire des tests post hoc reproduit celle employée pour l'analyse prosodique. Nous encourageons donc le lecteur à se reporter encore une fois si nécessaire à l'Annexe 1 expliquant la syntaxe utilisée pour la présentation des résultats des tests post-hoc de l'analyse articulatoire.



## 2

### ***L'Indice de Correspondance Hiérarchique***

Nous décrivons dans cette partie l'utilisation de la corrélation des rangs de Spearman, intervenant lors de la seconde étape de la procédure de sélection des mesures articulatoires. Cette étape constitue le cœur de la procédure d'analyse articulatoire, puisque c'est elle qui détermine le degré d'adéquation des variations articulatoires observées en fonction de la hiérarchie phonético-fonctionnelle des catégories prosodiques, établie par l'analyse prosodique. Les corrélations entre paramètres articulatoires et hiérarchie des catégories prosodiques larges, d'une part, et étroites, d'autre part, sont traitées indépendamment.

La corrélation des rangs de Spearman (Spiegel 1993 : 327) est une méthode non paramétrique qui fournit un coefficient des rangs qui quantifie la corrélation (la correspondance) entre deux variables alpha-numériques représentées par une série ordonnée présentant un même nombre d'éléments.

Ici, les deux variables comparées sont la hiérarchie des catégories prosodiques, ordonnées selon un ordre croissant de gauche à droite, et l'ordre de ces mêmes catégories prosodiques tel qu'il ressort après l'arrangement croissant de leur moyenne pour la mesure articulatoire considérée.

L'ordre hiérarchique prosodique constitue la variable indépendante de la comparaison : il correspond toujours à la série ordonnée des quatre éléments de la catégorisation large : *INA-ACC-ICT-ICC*, et de huit de la catégorisation étroite : *SY-MO-AM-AS-CM-CT-TN-TM*.

L'ordre hiérarchique des catégories prosodiques issu de l'analyse de la mesure articulatoire considérée (hiérarchie articulatoire) constitue la variable dépendante de la comparaison, puisqu'il varie suivant le phénomène articulatoire observé.

Le coefficient des rangs, obtenu par le calcul de la corrélation entre ces hiérarchies prosodiques et articulatoires, sera désormais appelé « *Indice de Correspondance Hiérarchique* » : soit *iHL* pour les comparaisons des mesures articulatoires avec les catégories prosodiques larges, soit *iHE* pour celles avec les catégories étroites.

Afin de calculer cet indice, il est au préalable nécessaire de procéder à la numérotation des séries comparées. Ainsi, tout d'abord, chaque étiquette de catégorie prosodique est remplacée par son numéro de rang dans la hiérarchie prosodique :

- pour la catégorisation large : INA = 1, ACC = 2, ICT = 3 et ICC = 4 ;
- de même pour la catégorisation étroite : SY = 1, MO = 2, AM = 3, jusqu'à TM = 8.

variable indépendante (référence)	hiérarchie prosodique	INA	ACC	ICT	ICC	<i>iHL</i>
	numérotation	1	2	3	4	-
variables dépendantes	hiérarchies articulatoires	selon l'ordre croissant des moyennes				
	mesure a	INA	ACC	ICC	ICT	
	numérotation	1	2	4	3	0,8
	mesure b	ICT	ACC	INA	ICC	
	numérotation	3	2	1	4	0,2
mesure c	ICC	ICT	ACC	INA		
numérotation	4	3	2	1	-1	
mesure d	ICT	ICC	INA	ACC		
numérotation	3	4	1	2	-0,6	
mesure e	ACC	ICC	ICT	INA		
numérotation	2	4	3	1	-0,4	

**Figure II.41** – Méthode de numérotation de la hiérarchie prosodique large et de hiérarchies articulatoires avec leur valeur d'*Indice de Correspondance Hiérarchique* pour des mesures articulatoires fictives (*iHL*)

Concernant la hiérarchie articulatoire, les étiquettes des catégories prosodiques sont tout d'abord ordonnées de manière croissante selon la valeur de leur moyenne pour la mesure considérée. Chaque

étiquette de catégorie est ensuite remplacée par le numéro de rang que celle-ci occupe dans la hiérarchie prosodique de référence. L'ordre numérisé des catégories prosodiques pour chaque mesure articulatoire est ainsi obtenu et constitue une hiérarchie articulatoire donnée.

La figure II.4.1 illustre cette étape de numérotation des hiérarchies pour la comparaison des mesures articulatoires avec les catégories larges ; la méthode est identique pour la hiérarchie des catégories étroites.

A partir de ces ordres numérotés, *iHL* et *iHE* sont calculés. Ces indices, comme tout coefficient de corrélation standard, varient entre -1 et +1. +1 exprime une corrélation totale entre les deux variables, c'est-à-dire une correspondance exacte terme à terme entre les deux hiérarchies comparées. -1 exprime une corrélation négative totale, c'est-à-dire un ordre inversé des éléments de la hiérarchie articulatoire comparé à celui de la hiérarchie prosodique de référence (figure II.4.1)<sup>44</sup>. Plus l'indice est proche de 0, plus la hiérarchie articulatoire considérée est éloignée de la hiérarchie prosodique de référence.

L'objectif de cette méthode étant de ne laisser passer dans la suite de l'analyse que les mesures montrant une correspondance assez étroite entre hiérarchie prosodique et hiérarchie articulatoire, il a été nécessaire de déterminer une valeur de seuil de rejet, en de ça de laquelle la hiérarchie articulatoire semble trop éloignée de la hiérarchie prosodique testée.

**Tableau II.4.1** – Présentation des 24 possibilités de hiérarchie articulatoire selon les 4 catégories prosodiques larges, avec la valeur *iHL* correspondante et l'indication de rejet de la mesure selon le seuil choisi

<i>hiérarchie prosodique</i>	INA	ACC	ICT	ICC	<i>iHL</i>	rejet
<i>hiérarchie articulatoire 1</i>	INA	ACC	ICT	ICC	1	non
<i>hiérarchie articulatoire 2</i>	INA	ACC	ICC	ICT	0,8	non
<i>hiérarchie articulatoire 3</i>	INA	ICT	ACC	ICC	0,8	non
<i>hiérarchie articulatoire 4</i>	ACC	INA	ICT	ICC	0,8	non
<i>hiérarchie articulatoire 5</i>	ACC	INA	ICC	ICT	0,6	non
<i>hiérarchie articulatoire 6</i>	INA	ICT	ICC	ACC	0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 7</i>	INA	ICC	ACC	ICT	0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 8</i>	ACC	ICT	INA	ICC	0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 9</i>	ICT	INA	ACC	ICC	0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 10</i>	INA	ICC	ICT	ACC	0,2	oui
<i>hiérarchie articulatoire 11</i>	ICT	ACC	INA	ICC	0,2	oui
<i>hiérarchie articulatoire 12</i>	ACC	ICC	INA	ICT	0	oui
<i>hiérarchie articulatoire 13</i>	ICT	INA	ICC	ACC	0	oui
<i>hiérarchie articulatoire 14</i>	ACC	ICT	ICC	INA	-0,2	oui
<i>hiérarchie articulatoire 15</i>	ICC	INA	ACC	ICT	-0,2	oui
<i>hiérarchie articulatoire 16</i>	ACC	ICC	ICT	INA	-0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 17</i>	ICT	ACC	ICC	INA	-0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 18</i>	ICC	INA	ICT	ACC	-0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 19</i>	ICC	ACC	INA	ICT	-0,4	oui
<i>hiérarchie articulatoire 20</i>	ICT	ICC	INA	ACC	-0,6	non
<i>hiérarchie articulatoire 21</i>	ICT	ICC	ACC	INA	-0,8	non
<i>hiérarchie articulatoire 22</i>	ICC	ACC	ICT	INA	-0,8	non
<i>hiérarchie articulatoire 23</i>	ICC	ICT	INA	ACC	-0,8	non
<i>hiérarchie articulatoire 24</i>	ICC	ICT	ACC	INA	-1	non

La détermination de ce seuil est la phase la plus critique du processus. Il faut en effet parvenir à adopter un seuil ni trop lâche, pour ne pas laisser passer des résultats linguistiquement non

<sup>44</sup> Pour plus de détails sur son calcul nous renvoyons à Spiegel (1993 : 327)

interprétables (pouvant être considérés comme du bruit, c'est-à-dire des ordres catégoriels ne répondant pas au facteur étudié ou pouvant relevés du hasard), ni trop permissif, pour ne pas ignorer des résultats intéressants montrant une certaine adéquation, même imparfaite, avec la hiérarchie prosodique.

Afin, de déterminer ce seuil nous avons calculé, pour chacun des 24 ordres possibles de la hiérarchie des catégories prosodiques larges, la valeur d'iHL (tableau II.4.1). Un *iHL* supérieur ou égal à 0,6, ou inférieur ou égal à -0,6 dans le cas de corrélations négatives, a été arrêté comme valeur seuil pour les comparaisons entre la hiérarchie articulatoire et la hiérarchie prosodique des catégories larges.

Cette valeur correspond à l'incidence d'au maximum deux permutations de deux catégories prosodiques contiguës par rapport à la hiérarchie prosodique de référence.

Si l'on se réfère au tableau II.4.1, seules les mesures montrant les hiérarchies articulatoires 1, 2, 3, 4, 5, 20, 21, 22, 23 et 24 sont retenues à l'étape 2 de la procédure de sélection. De même dans la figure II.4.1, les mesures *a*, *c* et *d* sont considérées comme proches de la hiérarchie prosodique, alors que les mesures *b* et *e* comme trop éloignées pour être retenues.

Il existe cependant un biais potentiel. La hiérarchie articulatoire ordonne les catégories selon leur moyenne pour la mesure considérée. Les tests post hoc réalisés à la fin de la procédure de sélection déterminent les différences significatives entre ces catégories. Il est possible qu'une seule catégorie se distingue de toutes les autres par une moyenne significativement plus basse ou plus haute que les trois autres ne se différenciant pas elles-mêmes entre elles. Dans ce cas, l'ordre des trois catégories non distinguées a donc peu d'intérêt.

Or, une différence significative spécifique de INA, par exemple dans la hiérarchie articulatoire 10 ou 16 (tableau II.4.1), ne pourra être captée par la procédure d'analyse élaborée ici que dans le cas où les trois autres catégories prosodiques montrent un agencement minimalement adéquat avec la hiérarchie prosodique attendue, alors que statistiquement cet ordre n'a pas d'importance.

Néanmoins du fait du grand nombre de mesures effectuées et du comportement très graduel de cet indice par palier de 0,2 (figure II.4.2), choisir un seuil plus bas aurait sans doute occasionné beaucoup de bruit dans les résultats finaux. Nous avons donc choisi d'adopter un seuil de rejet plus stricte, au détriment de la prise en compte de certains résultats reposant sur une mono-distinction post hoc d'une catégorie prosodique donnée.

De plus, ces cas de distinctions binaires, s'ils peuvent nous renseigner sur un effet de l'accent, ils ne nous informent guère sur celui d'une influence graduelle selon l'importance croissante de la frontière prosodique finale.

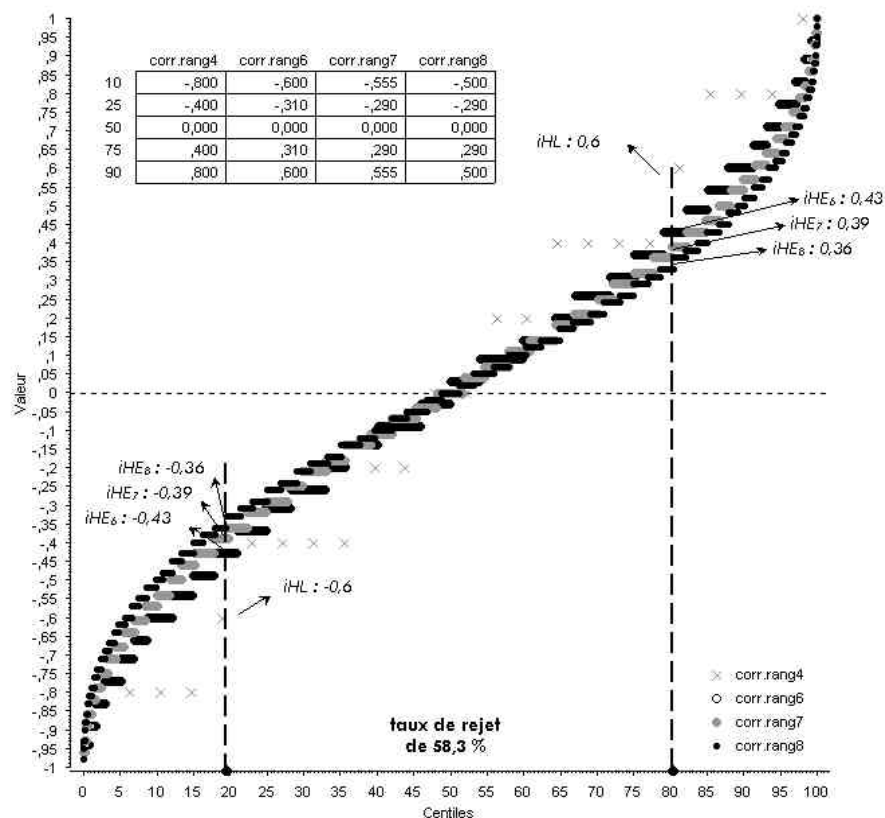
Le taux de rejet fixé pour la comparaison des mesures avec la hiérarchie prosodique large est de 58,3%. Il correspond aux valeurs iHL comprises entre le 19<sup>e</sup> (-0,6) et le 81<sup>e</sup> (0,6) centile de la distribution des iHL pour les 24 ordres hiérarchiques théoriquement possibles de quatre éléments (figure II.4.2).

Nous avons ensuite déterminé les seuils pour la comparaison des hiérarchies articulatoires avec la hiérarchie prosodique de référence selon les huit catégories étroites. Ces seuils ont été fixés en fonction de ceux appliqués à la hiérarchie large. Nous avons donc récupéré la valeur aux 19<sup>e</sup> et 81<sup>e</sup> centiles de la distribution des iHE calculés pour les 40320 ordres possibles de huit éléments. Ces seuils pour cette hiérarchie étroite sont de -0,36 et 0,36 (*iHE<sub>8</sub>*, figure II.4.2).

Dans les cas particuliers de hiérarchies étroites réduites à 7 ou 6 catégories prosodiques (dus à la disparition chez locC d'une ou deux catégories après exclusion des items lors de l'analyse prosodique, cf. §II.2:2.1, ou relatif au contexte /kl/ qui ne présente pas de catégorie SY), nous avons déterminé identiquement leurs seuils respectifs à partir de la distribution des iHE calculés pour les 5040 et 720 ordres possibles de 7 et 6 éléments. Ces seuils sont de -0,39 et 0,39 pour une hiérarchie à 7 catégories, de -0,43 et 0,43 pour une de 6 (*iHE<sub>7</sub>* et *iHE<sub>6</sub>*, figure II.4.2).

Ces seuils de rejet sont de ce fait comparables, puisqu'ils reposent sur un taux de rejet théorique identique de 58,3 %. Ils garantissent ainsi qu'une hiérarchie donnée, étroite ou large, ne soit pas plus permissive en terme de degré d'adéquation avec les hiérarchies articulatoires comparées. Il n'y a donc

pas de possibilité qu'une catégorisation donnée soit favorisée par un nombre moins important d'éléments. Ceci aurait pu constituer un sérieux biais méthodologique, compte tenu que plus le nombre d'éléments ordonnés est important, plus il est intrinsèquement contraignant de respecter l'ordre attendu.



**Figure II.4.2** – Distributions des iHL (*corr.rang4*) et des iHE à 6 (*corr.rang6*), 7 (*corr.rang7*) et 8 (*corr.rang8*) niveaux hiérarchiques (catégories) avec indication des seuils de rejet des mesures correspondant à un taux de rejet identique de 58,3 %. Le tableau indique pour chaque hiérarchie prosodique la valeur de iHL et iHE pour le 10<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> centile, le 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> quartile et la médiane

A cette question du filtrage des mesures articulatoires selon le niveau des seuils de rejet, celle du bruit résiduel est étroitement reliée.

Si, d'un côté, on est relativement confiant sur le fait que les mesures rejetées par les seuils sont très éloignées de la hiérarchie prosodique de référence et qu'elles ne rendent donc pas compte d'un effet clair du contexte prosodique, d'un autre côté, les mesures retenues, au terme de l'étape 2, sont toujours soumises à la variabilité aléatoire, intrinsèque à tout phénomène naturel, et à la variabilité individuelle et inter-individuelle, endogène à tout comportement humain.

S'il est quasi impossible de déterminer exactement la part de la variabilité strictement aléatoire, on peut par contre réduire celle tenant aux stratégies individuelles, en confrontant les comportements des différents locuteurs.

Cette étape de sélection des mesures articulatoires est fondamentale dans l'analyse qui va suivre.

### III

---

#### ***Résultats expérimentaux***

Dans cette partie, nous présentons nos résultats expérimentaux concernant l'interaction entre (co)articulation linguopalatale et prosodie.

Ces résultats concernent essentiellement les phénomènes articulatoires montrant un degré de correspondance minimal et homogène inter-individuellement entre la hiérarchie articulatoire des catégories prosodiques, issues des mesures articulatoires, et les deux hiérarchies phonético-fonctionnelles prosodiques, large et étroite, issues de l'analyse prosodique.

Cette partie est organisée en deux chapitres.

Le premier est relatif à la comparaison entre le type de catégorisation prosodique (large *vs* étroite) et les variations articulatoires.

Nous cherchons là à savoir si le marquage articulatoire et coarticulatoire, graduellement croissant selon l'importance des marques prosodiques structurelles de l'énoncé, est capté de façon équivalente, quantitativement et qualitativement, par une détermination relativement élémentaire (large) ou par une identification plus détaillée (étroite) du contexte prosodique.

Le second chapitre est dévolu à la question de la localisation dans la séquence 'VC#CV et de la nature (temporelle, spatiale ou spatio-temporelle) des corrélats articulatoires de la structure prosodique.

Ici, nous cherchons à préciser, d'une part, quels segments ou quels enchaînements inter-segmentaux constituent des lieux privilégiés et homogènes inter-individuellement d'expression du marquage articulatoire de la hiérarchie prosodique.

D'autre part, nous tentons d'établir quels processus articulatoires sont principalement mis en jeu dans ce marquage.

## Chapitre 1

### ***Comparaison des catégorisations prosodiques en fonction des co-variations articulatoires***

Dans ce chapitre, nous rendons donc compte des résultats relatifs à la comparaison entre la sélection des mesures articulatoires opérée au regard de la hiérarchie prosodique large et celle en fonction de la hiérarchie prosodique étroite.

Le but de cette procédure de sélection est triple :

- (1) écarter les mesures, et donc les phénomènes articulatoires, qui ne répondent pas de façon au moins minimale aux hiérarchies prosodiques large et étroite ;
- (2) ne conserver que les mesures les moins sensibles aux variations individuelles, c'est-à-dire de tenter de dégager le noyau relationnel stable entre variations articulatoires et structure prosodique ;
- (3) évaluer le degré de finesse dans la détermination prosodique du contexte nécessaire pour rendre compte des co-variations articulatoires et coarticulatoires selon la structure prosodique.

Nous cherchons donc à savoir, dans un premier temps, quelle hiérarchie prosodique de la large (*INA-ACC-ICT-ICC*) ou de l'étroite (*SY-MO-AM-AS-CM-CT-TN-TM*) permet de mieux rendre compte des phénomènes de co-variations articulatoires et coarticulatoires concomitants à la structure prosodique.

Cette différence d'adéquation entre articulation et prosodie selon le type de représentation prosodique (large vs étroite) est évaluée de deux manières complémentaires : selon le nombre de mesures répondant aux deux types de hiérarchie prosodique et selon la capacité de la hiérarchie étroite à sous-spécifier la hiérarchie large.

Il est à noter que le nombre de mesures articulatoires ne correspond pas strictement au nombre de phénomènes articulatoires différents pris en compte. En effet, dans plusieurs cas, concernant notamment la production temporelle VC, CCV, CC, CCV et CV, un phénomène est représenté par une série de mesures différentes selon le type d'échelle temporelle utilisée.

Par exemple, le chevauchement articulatoire entre C1 et C2 est traité temporellement par trois mesures différentes : (i) en durée brute (ms) ; (ii) en proportion de l'intervalle inter-consonantique dans la séquence CC (%) ; (iii) en terme de latence relative entre C1 et C2 (en % de C1 ou C2). Cela implique une certaine redondance entre les mesures rendant compte d'un phénomène, dans le cas où elles sont corrélées.

## 1

### ***Comparaison quantitative des deux types de hiérarchies : étapes 1 et 2 de la procédure***

Les étapes 1 et 2 de la procédure de sélection concernent respectivement la détermination d'un effet général des catégories prosodiques et l'adéquation minimale aux hiérarchies prosodiques des hiérarchies articulatoires issues des mesures.

Les mesures articulatoires sont testées individuellement pour chaque locuteur et chaque groupe de consonnes, répétitions et catégories prosodiques confondues pour chacune d'elles. 2136 mesures articulatoires individuelles ont été effectuées, soit 178 \* 4 groupes \* 3 locuteurs. Chacune est soumise à la procédure de sélection pour les deux hiérarchies prosodiques envisagées, à savoir la large et l'étroite.

## 1.1. Des taux similaires de rejet des mesures

Le premier filtre de la procédure permet de se défaire des mesures articulatoires qui ne montrent pas un effet significatif général des catégories prosodiques larges et étroites (ANOVA à un facteur « *catégories prosodiques* », le seuil de rejet étant fixé à  $p > 0,05$ ).

Les deux hiérarchies montrent un taux de rejet proche : environ 37 % pour la large (dorénavant *HPL*) et 29 % pour l'étroite (dorénavant *HPE*) (tableau III.1.1).

**Tableau III.1.1** – Nombre de mesures restantes et pourcentages de rejet relatif (c'est-à-dire par rapport au nombre de mesures restantes après l'étape précédente), et de rejet cumulé (c'est-à-dire par rapport au nombre de mesures totales au départ) pour les confrontations avec la hiérarchie prosodique large (*HPL*) et étroite (*HPE*) des étapes 1 et 2 de la procédure de sélection

	nb de mesures individuelles restantes		taux de rejet relatif		taux de rejet cumulé	
	HPL	HPE	HPL	HPE	HPL	HPE
nb total des mesures individuelles	2136	2136	-	-	-	-
étape 1 : effet général significatif	1341	1519	-	-	37	29
étape 2 : correspondance hiérarchique minimale	762	911	43	40	64	57

Les taux de rejet relatifs lors de la seconde étape sont très similaires : 43 % pour *HPL* et 40 % pour *HPE*. En terme de correspondance entre hiérarchies articulatoires, résultant des mesures individuelles, et hiérarchies prosodiques, les catégorisations larges et étroites proposent, pour un seuil de rejet théorique équivalent (58 %, cf. §II.2-2), une sélection des mesures articulatoires quantitativement comparable.

On ne peut donc pas dire à ce stade laquelle des deux hiérarchies permettrait de rendre compte des co-variations articulatoires en fonction du contexte prosodique de façon plus optimale, c'est-à-dire assez détaillée et économe.

Par contre, on peut constater deux choses. Les taux de rejet équivalents suggèrent que les seuils appliqués pour chacune des deux hiérarchies prosodiques sont bien ajustés de manière équivalente. De plus, ces seuils, inférieurs de 15 à 18 % du seuil théorique, montrent qu'un plus grand nombre de mesures sont retenues que si elles ne l'avaient été de manière totalement aléatoire. Un certain nombre de mesures, ayant passé ces deux étapes, rendent donc bien compte d'une corrélation entre hiérarchie prosodique et variations articulatoires.

## 1.2. La question de l'indépendance des deux hiérarchies prosodiques

Le fait que les seuils de rejet de *HPL* et *HPE* soient si proches pose la question de l'indépendance de ces deux hiérarchies prosodiques en fonction du comportement articulatoire supraglottique. Ce résultat n'est cependant pas très surprenant selon deux aspects.

Tout d'abord, d'un point de vue prosodique les catégories larges et étroites sont intrinsèquement reliées. Leur détermination phonétique et fonctionnelle établit leur relation linguistique dans la structuration orale de l'énoncé.

Néanmoins, rien, en dehors de l'intuition scientifique et des résultats expérimentaux antérieurs en la matière, ne permet d'affirmer que cette relation prosodique intrinsèque entre les catégories larges et étroites est maintenue au niveau articulatoire.

Le deuxième niveau d'imbrication entre catégories larges et catégories étroites est plus problématique. Il relève du fait que les données articulatoires des catégories larges sont constituées par la confusion des données des catégories étroites qui les composent. Cela peut poser un problème de circularité dans la définition des catégories : des larges par les étroites ou des étroites par les larges. Cela est également le cas au niveau prosodique.

Cependant, la position d'une catégorie dans la hiérarchie prosodique large, n'est pas fonction de la

position respective de chacune des catégories étroites qui la composent. Elle est fonction de la moyenne des valeurs de leurs effectifs confondus. Cela signifie qu'une certaine indépendance relationnelle est tout de même possible. Reste que certaines incertitudes dans les résultats peuvent demeurer du fait de cette imbrication des catégories larges et étroites.

D'une part, on peut penser que la relation entre ces deux types de catégorie prosodique au niveau articulatoire est sauvegardée, non du fait d'un lien prosodique sous-jacent, mais de la circularité des données. Dans ce cas, on devrait observer très peu de cas où des mesures articulatoires différentes sont retenues selon le type de hiérarchie prosodique.

D'autre part, certaines positions hiérarchiques des catégories larges peuvent apparaître relativement artificielles. En effet, par exemple, pour deux catégories étroites A'' et A' composant la catégorie large A, la position attendue hiérarchique de A peut résulter exclusivement de la bonne position d'une seule des catégories étroites A' ou A''. Si seule A' est bien placée et qu'elle se distingue très nettement de toutes les autres catégories étroites par sa moyenne et sa dispersion, la position de A'' n'a que peu de poids, puisque que le moyennage entre A' et A'' permet à A de bien figurer dans la hiérarchie large. Ce qui veut dire que l'association de A' avec une autre catégorie étroite aurait également pu conduire au même placement de A dans la hiérarchie large.

Cette artificialité potentielle de la hiérarchisation large n'est réellement évaluable qu'en comparant terme à terme les deux classements hiérarchiques effectués pour l'ensemble des mesures. Cette analyse fait l'objet du chapitre III.3 relatif à la comparaison qualitative des deux types de hiérarchies prosodiques. Il aurait été sans doute plus sûr de séparer totalement les effectifs des données de chacune des catégorisations.

Dans un premier temps, nous nous proposons d'évaluer l'indépendance relative des deux catégorisations prosodiques au niveau articulatoire de deux façons :

- (1) par la possibilité d'une sélection des mesures différentes pour HPL et HPE dès la fin de la seconde étape de la procédure ;
- (2) par l'analyse de la corrélation des indices de correspondance hiérarchique, des mesures retenues après l'étape 1, entre hiérarchie large (iHL) et hiérarchie étroite (iHE).

Le premier point suppose deux choses :

- (1) qu'une mesure significative retenue du fait d'un indice de correspondance hiérarchique supérieur au seuil pour la comparaison avec HPL (iHL = seuil de rejet), n'est pas nécessairement retenue pour la comparaison avec HPE (iHE < seuil de rejet) ;
- (2) inversement, qu'une mesure significative retenue pour la comparaison avec HPE (iHE = seuil de rejet), n'est pas toujours retenue pour la comparaison avec HPL (iHL < seuil de rejet).

Les données montrent que ces deux possibilités existent et qu'elles ne sont pas négligeables. En effet, 6 % des mesures retenues pour HPL ne le sont pas pour HPE. Inversement, 12 % des mesures sélectionnées par comparaison avec HPE ne le sont pas par comparaison avec HPL. Au total, près de 20 % de mesures sont différenciellement retenues selon le type de catégorisation prosodique.

Ces premiers résultats laissent penser qu'une certaine indépendance des réponses des deux types de hiérarchie aux variations articulatoires existe, malgré l'intrication des données entre les deux catégorisations prosodiques.

D'un autre côté, une indépendance complète serait également très problématique, dans le sens où cela pourrait signifier que les deux niveaux prosodiques sont totalement autonomes au regard des comportements articulatoires, indiquant soit que les liens prosodiques sont entièrement coupés, ce qui est difficilement concevable, soit qu'il y a un grave problème d'adéquation dans le regroupement des catégories étroites en catégories larges.

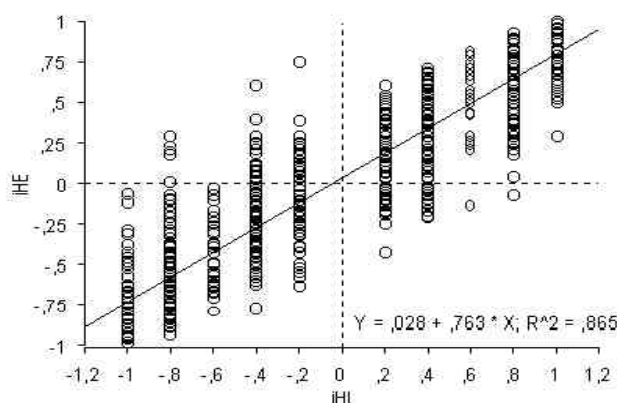
Nous avons donc effectué pour les mesures significatives retenues et communes aux deux catégorisations une régression linéaire entre leur valeurs iHE et iHL.

Cette analyse (figure III.1.1) montre que les deux indices de correspondance hiérarchique sont très corrélés :  $r^2 = 0,865$  ( $p < 0,0001$ ). Cette corrélation est très importante pour deux raisons.



Tout d'abord, le signe de l'indice est fondamental. En effet, comme on l'a dit des corrélations inverses entre hiérarchie articulatoire et hiérarchie prosodique sont tout à fait acceptables (cf. §II.4:1), il apparaît donc que lorsque HPL fournit pour une mesure donnée un iHL négatif, HPE donne un indice iHE de même sens. De plus, les valeurs de iHE décroissent régulièrement en fonction de la diminution de celles de iHL.

Néanmoins, la variation importante des valeurs de iHE en fonction des valeurs plus catégorielles d'iHL montrent qu'une certaine indépendance entre les deux hiérarchies au niveau articulatoire est tout de même conservée.



**Figure III.1.1** – Régression linéaire entre iHL et iHE et coefficient de corrélation ( $r^2$ ) pour les mesures articulatoires montrant un effet général significatif des catégories prosodiques larges et étroites

Il ressort donc bien que le lien entre hiérarchie prosodique étroite et hiérarchie prosodique large est maintenu dans la production articulatoire de la séquence 'VC#CV, indiquant que les co-variations articulatoires en fonction du contexte prosodique répondent bien aux deux types de catégorisation prosodique et qu'elles vont quasi toujours dans le même sens pour les deux hiérarchies.

En outre, la variation d'iHE en fonction d'iHL et le fait que des mesures différentes peuvent être sélectionnées selon la comparaison avec l'une ou l'autre hiérarchie prosodique montrent tout de même une certaine indépendance de ces deux organisations prosodiques dans les comportements articulatoires, malgré le fait que les données brutes sont partagées par les deux types de catégorisation prosodique.

Au terme de ces deux étapes (1 et 2) de la procédure de sélection des données, même si on ne remarque pas à ce stade de réelle différence quantitative entre catégorisation prosodique large et étroite en fonction des phénomènes articulatoires et co-articulatoires (les seuils de rejet étant identiques et le lien prosodique étant conservé), on observe tout de même une certaine indépendance entre elles.

Cette variation entre hiérarchie prosodique large et étroite au niveau des mesures articulatoires traduit une variabilité tenant au comportement articulatoire individuel aléatoire ou stratégique des locuteurs.

Afin d'atténuer cette source de variabilité, les étapes 3, 4 et 5 de la procédure de sélection des mesures confrontent les résultats des locuteurs en fonction des deux hiérarchies prosodiques, mesure par mesure.

## 2

### ***Confrontation des locuteurs : étapes 3, 4 et 5 de la procédure***

Les étapes 3 et 4 constituent des niveaux d'analyse fondamentaux dans notre approche, l'étape 5 effectue un dernier contrôle d'homogénéité statistique.

Nous nous préoccupons ici essentiellement des phénomènes qui pourraient constituer le noyau robuste et stable des co-variations articulatoires et coarticulatoires en fonction du contexte prosodique. Nous cherchons donc à quantifier et spécifier quels phénomènes articulatoires sont moins sensibles aux variations inter-individuelles, en prenant le risque que les résultats soient plutôt réduits, voire réducteurs. Nous n'ignorons pas l'importance potentielle des stratégies individuelles articulatoires, compensatoires ou non, dans la réalisation d'un effet articulatoire « souhaité ».

Néanmoins, au-delà d'une certaine disparité des comportements individuels, les phénomènes de co-variations articulatoires ne peuvent être interprétés de façon fiable comme des marques régulières pouvant être utilisées pour faciliter ou accélérer l'accès et le décodage des informations structurelles de l'énoncé. Il doit donc exister un noyau dur des relations entre articulation et prosodie sur lequel repose une corrélation minimale entre locuteurs.

En regroupant les mesures retenues des locuteurs et en s'assurant de leur sens identique de variation, nous cherchons, d'une part, à dégager ce noyau dur d'homogénéité inter-individuelle et, d'autre part, à nous défaire de la variation aléatoire des répartitions des catégories prosodiques larges et étroites au niveau articulatoire.

Nous excluons donc à cette étape les mesures articulatoires qui ne répondent pas de manière systématique inter-individuellement au facteur prosodique.

Toutes mesures écartées pour une raison de non significativité du facteur « *catégories prosodiques* » ou de correspondance hiérarchique insuffisante ne sont plus prises en compte ici.

Les résultats obtenus, c'est-à-dire les hiérarchies articulatoires, de chacune des mesures restantes sont alors comparés entre les locuteurs. Seules les mesures représentées par au moins deux des trois locuteurs sont retenues lors de l'étape 3.

Le taux de rejet des mesures inter-individuelles, selon ce dernier critère, est plus important de 12 % pour HPL par rapport à HPE (tableau III.1.2). Néanmoins, cela n'est pas directement interprétable du fait que le sens de la variation des phénomènes articulatoires en fonction des hiérarchies prosodiques n'est pas pris en compte à cette étape de la procédure.

**Tableau III.1.2** – Nombre de mesures inter-individuelles restantes et taux de rejet relatif et cumulé concernant les comparaisons avec HPL et HPE pour les étapes 3 à 5 de la procédure de sélection relatives à la confrontation des trois locuteurs

	nb de mesures inter-individuelles restantes		taux de rejet relatif		taux de rejet cumulé	
	HPL	HPE	HPL	HPE	HPL	HPE
nb total des mesures individuelles	712	712	-	-	-	-
étape 3 : = 2/3 locuteurs	192	271	-	-	73	61
étape 4 : même sens de variation	134	162	30	40	81	77
étape 5 : homogénéité statistique	133	157	0,01	3	81	78

Le sens de variation de la hiérarchie articulatoire est fourni par le signe de l'indice de correspondance hiérarchique (iHL ou iHE). Comme on l'a vu lors de la corrélation entre iHL et iHE, ce sens est très important. Si, pour une mesure donnée, les locuteurs montrent un effet de la hiérarchie prosodique dans des sens opposés, ces résultats sont considérés comme non homogènes. Ce critère constitue le paramètre de sélection inter-locuteurs de l'étape 4.

HPE montre un taux de rejet pour ce critère supérieur de 10 % à celui de HPL, en nombre de mesures individuelles ou inter-individuelles. L'ordre des taux de rejet est inversé entre HPL et HPE par rapport à celui de l'étape précédente. Les deux étapes 3 et 4 paraissent donc se compenser au regard des taux de rejet de chaque hiérarchie prosodique.

A la sortie de l'étape 4, les taux de rejet cumulés sont tout à fait équivalents, la différence n'étant que de 4 % (tableau III.1.2).

Enfin, l'étape 5 permet un dernier contrôle de l'homogénéité statistique une fois les données des

trois locuteurs mélangées pour chaque mesure retenue.

Ce dernier filtre montre une plus forte sélection des mesures pour la hiérarchie étroite, c'est-à-dire celle composée du plus grand nombre de catégories, et pouvant montrer une plus grande variation inter-individuelle dans les arrangements catégoriels pour des iHE acceptables.

Reste que ce filtre est relativement anecdotique du fait d'un taux de rejet très faible (3 %).

Au terme de la procédure, les deux hiérarchies prosodiques, large et étroite, proposent une sélection quantitative quasi similaire des mesures articulatoires, pour lesquelles les comparaisons ne montrent une différence de rejet de seulement 3 % des mesures inter-individuelles.

### 3

#### ***Comparaison qualitative des deux types de hiérarchies prosodiques***

Au regard de l'aspect simplement quantitatif, catégorisation prosodique large et catégorisation étroite offrent un point de vue relativement identique. On ne peut dès lors pas dire quelle hiérarchie décrit de manière plus adaptée les variations articulatoires concomitantes à la structure prosodique. Nous ne savons pas à ce stade si la hiérarchie large est suffisante, ou l'étroite nécessaire, pour rendre compte des co-variations articulatoires en fonction de la structure prosodique.

Les taux de rejet nous apprennent cependant que les variations articulatoires répondent inter-individuellement de manière assez importante. En effet, 19 % des mesures fournissent une hiérarchie articulatoire homogène inter-individuellement assez proche de la hiérarchie prosodique en catégories larges et 22 % assez proche de la hiérarchie prosodique en catégories étroites.

Ces 20 % environ de mesures articulatoires varient de façon relativement étroite et stable entre les locuteurs en fonction des deux hiérarchies. Cette variation est assez comparable entre les deux types de catégorisation prosodique, indiquant que leur lien prosodique est conservé au niveau articulatoire au moins pour un certain nombre de mesures.

#### **3.1. Nécessité d'une comparaison qualitative**

Malgré tout, nous ne savons toujours rien du gain qualitatif dans la description des phénomènes de co-variation articulatoire selon la structure prosodique que pourrait apporter une détermination étroite des catégories prosodiques.

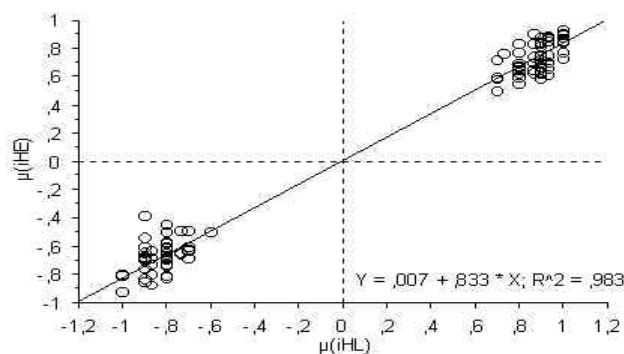
Ce que l'on sait concerne le fait que les mesures articulatoires ne répondent pas forcément de la même manière aux deux types de catégorisation. Sur les 157 mesures retenues dans la comparaison avec la hiérarchie prosodique étroite, 65 % d'entre elles sont également sélectionnées dans la comparaison avec la hiérarchie prosodique large. Dans l'autre sens, 77 % des mesures homogènes entre les locuteurs s'accordant à HPL, répondent de la même manière à HPE, soit 133 mesures.

Il y a donc bien une différence non négligeable entre ces deux types de catégorisation prosodique au regard des co-variations supraglottiques pouvant marquer différenciellement le contexte prosodique.

Rappelons tout de même que les mesures sont celles partagées par les locuteurs, mais propres à un groupe de consonnes donné. Donc, cette différence importante en terme de mesures communes entre HPL et HPE, peut également s'interpréter en partie comme une influence du type de groupe de consonnes auquel se rapporte une mesure.

Afin de rendre compte des différences qualitatives entre HPL et HPE au regard de la co-variation entre articulation et prosodie, nous nous sommes exclusivement intéressés aux 102 mesures articulatoires communes répondant à ces deux hiérarchies prosodique de référence.

Nous avons effectué une nouvelle fois une régression linéaire entre iHL et iHE pour les mesures communes traitées (figure III.1.2) permettant de quantifier la possibilité de variation dans la description des phénomènes articulatoires entre ces deux types de hiérarchie prosodique.



**Figure III.1.2** – Régression linéaire entre les iHL et les iHE moyennés entre les locuteurs sélectionnés et coefficient de corrélation ( $r^2$ ) pour les mesures retenues communes, c'est-à-dire retenues à la fois pour HPL et pour HPE

Cette analyse montre que si, certes, la corrélation est extrêmement importante et quasi totale,  $r^2 = 0,983$  ( $p < 0,0001$ ), elle est due principalement à la polarisation de l'Indice de Correspondance Hiérarchique toujours respectée par les mesures articulatoires entre hiérarchie prosodique large et étroite. Si une mesure donnée montre une hiérarchie articulatoire croissante en fonction des catégories larges, elle l'est toujours également en fonction des catégories étroites.

Cette très forte corrélation est également due à une diminution de iHE en fonction de iHL, ce qui témoigne d'une préservation du lien prosodique entre les deux catégorisations au niveau articulatoire. Si une mesure montre une hiérarchie articulatoire éloignée de la hiérarchie prosodique large, elle montrera en moyenne également une hiérarchie articulatoire éloignée de celle en catégories étroites (et inversement).

Néanmoins, on observe tout de même une variation non négligeable de la valeur de iHE pour une valeur donnée de iHL, surtout pour les indices négatifs. Cela indique que les catégories prosodiques étroites sont relativement mobiles hiérarchiquement, et que dans bien des cas leur place ne répond pas toujours à celle que l'on pourrait attendre qu'elles aient selon la catégorisation large. En d'autres termes, la position hiérarchique des catégories étroites n'est en fait déterminée que partiellement par la position hiérarchique des catégories larges.

Dès lors, s'agissant des co-variations articulatoires, se pose la question de savoir dans quelle mesure la hiérarchie prosodique des catégories étroites propose une sous-catégorisation adéquate de la hiérarchie large, c'est-à-dire qui réponde à leur regroupement deux à deux dans les catégories larges, tel qu'il a été déterminé lors de l'analyse prosodique.

### 3.2. La comparaison qualitative

Afin d'évaluer globalement l'apport qualitatif d'une catégorisation étroite sur une catégorisation large des marqueurs prosodiques pour la description des co-variations articulation-prosodie, nous avons seulement analysé les mesures articulatoires sélectionnées par la procédure qui répondent à la fois à la hiérarchie prosodique large et à l'étruite, soit 102 mesures articulatoires communes. Cette évaluation repose sur deux analyses complémentaires.

La première cherche à quantifier le nombre de mesures articulatoires, sur le nombre total des mesures communes retenues, qui montrent une adéquation stricte entre l'agencement des catégories étroites et celui attendu selon les catégories larges.

La seconde informe sur le nombre de cas où les deux catégories étroites composant une catégorie large donnée sont contiguës dans les hiérarchies articulatoires et se distinguent significativement l'une de l'autre dans les tests post hoc inter-catégoriels (cf. Annexes III.1 et III.2).

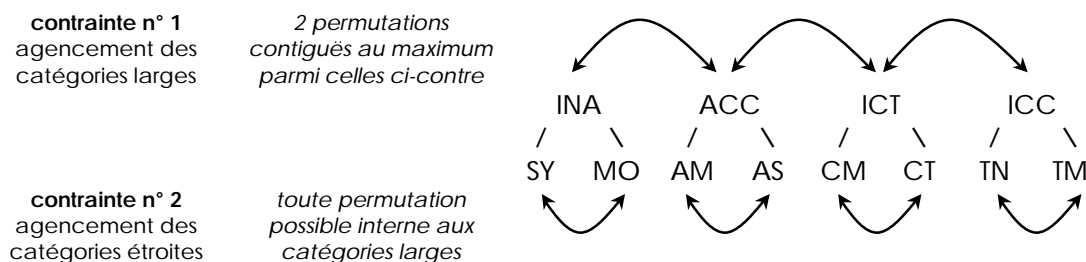
### 3.2.1. Détermination de la position hiérarchique des catégories étroites selon celle des catégories larges

La méthode relative à la première analyse reprend le principe élaboré pour l'étape 2 de la sélection des mesures, à savoir un critère de filtrage des mesures selon leur adéquation à la hiérarchie des catégories prosodiques attendue, déterminée par l'Indice de Correspondance Hiérarchique (iH). Ici, les contraintes de positionnement des catégories étroites sont définies par rapport à la hiérarchie large.

Afin d'évaluer si deux catégories étroites répondent principalement à la position hiérarchique de la catégorie large à laquelle elles appartiennent, nous avons recalculé un seuil de rejet des hiérarchies articulatoires étroites. Ce seuil de rejet correspond à un positionnement contraint des catégories étroites, d'abord en fonction de la position hiérarchique occupée par la catégorie large dont elles dépendent, et ensuite par la possibilité de permutation entre elles.

Comme précédemment, la contrainte de positionnement des catégories larges est à la base de la détermination des seuils de rejet des mesures articulatoires, et correspond à la contrainte positionnelle suivante : seules deux permutations des catégories contiguës sont autorisées (cf. §II.4:2).

La figure III.1.3 ci-dessous illustre l'agencement hiérarchique contraint des catégories prosodiques étroites en fonction de la position hiérarchique des catégories larges desquelles elles dépendent.



**Figure III.1.3** – Ordre hiérarchique contraint des catégories étroites en fonction de celui des catégories larges permettant la détermination des nouveaux seuils de rejet des mesures articulatoires

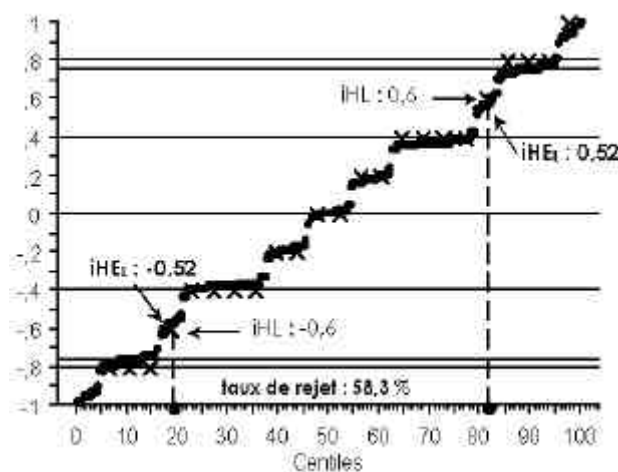
Nous avons ainsi calculé, pour les 384 combinaisons possibles de huit éléments répondant à ces deux contraintes d'agencement, les valeurs possibles de l'Indice de Correspondance Hiérarchique des hiérarchies articulatoires ( $iHE_L$ ). A partir de leur distribution (figure III.1.4), nous avons déterminé les nouveaux seuils de rejet par rapport à ceux appliqués pour la hiérarchie prosodique large à quatre éléments, à savoir 0,6 et -0,6 correspondant aux valeurs respectives de  $iHL$  au 19<sup>e</sup> et 81<sup>e</sup> centiles, déterminant un seuil de rejet théorique des mesures de 58,3 %.

Pour un même taux de rejet théorique, les valeurs des nouveaux seuils de rejet des mesures selon la hiérarchie contrainte des catégories prosodiques étroites sont de 0,52 et -0,52.

Dès lors, nous avons appliqué ces nouveaux seuils de la hiérarchie étroite contrainte sur les 102 mesures articulatoires communes retenues de la même façon que lors de la procédure générale de sélection des mesures. Nous avons ainsi filtré les mesures articulatoires ; puis par le regroupement des mesures identiques entre les locuteurs, nous n'avons conservé que celles représentées par au moins deux des trois locuteurs<sup>45</sup>.

Il apparaît que 82 % des 102 mesures communes répondent minimalement à une hiérarchie prosodique étroite contrainte en fonction de la hiérarchie prosodique large, c'est-à-dire montrent un  $iHE_L$  supérieur au seuil positif ou inférieur au seuil négatif (annexes III.1 et III.2).

<sup>45</sup> Les filtres relatifs à l'homogénéité de variation hiérarchique selon le sens de la hiérarchie (étape 4 de la procédure générale) et leur cohésion statistique (étape 5) ne sont pas réappliqués dans cette analyse, du fait que les mesures testées ici répondent déjà à ces conditions.



**Figure III.1.4** – Distributions des valeurs possibles de  $iHE_L$  (•) et celles des  $iHL$  (x) avec indication des seuils de rejet des mesures appliqués à chaque type de hiérarchie (large vs étroite contrainte) pour un même taux de rejet théorique de 58,3 %

Il est en conséquence possible qu'au niveau articulatoire la position hiérarchique des catégories étroites dépende principalement de la position hiérarchique des catégories larges auxquelles elles appartiennent. Cela signifie que les relations prosodiques intrinsèques, fonctionnelles et phonétiques, qui lient deux à deux les catégories étroites entre elles et avec les catégories larges, sont bien préservées au niveau articulatoire.

Ce point est important. Premièrement, il montre que les regroupements opérés des catégories larges en catégories étroites sont relativement valides au regard des co-variations entre articulation et prosodie, même si d'autres types de regroupements prosodiques auraient pu tout aussi raisonnablement être envisagés.

Deuxièmement, ce résultat permet de supposer que les catégories étroites peuvent potentiellement apporter une amélioration dans la description des co-variations entre articulation et prosodie, en détaillant et sous-spécifiant de manière assez systématique la catégorisation prosodique large.

Néanmoins, le fait qu'au niveau articulatoire les catégories étroites puissent être majoritairement déterminées dans leur positionnement hiérarchique d'après la place des catégories larges, ne nous dit pas si, dans ce cas, elles se différencient régulièrement ou non.

L'absence ou la présence d'une telle distinction est par contre observable dans les résultats des tests post hoc effectués pour chacune des 102 mesures retenues.

### 3.2.2. Distinction statistique des catégories prosodiques étroites sous-composant une même catégorie large

Afin d'évaluer l'hypothèse d'une sous-spécification au niveau articulatoire des catégories prosodiques larges par les étroites, nous avons analysé, par un comptage systématique, les cas où les catégories étroites étaient contiguës et les cas où elles étaient adjacentes et significativement distinguées ( $p = 0,05$ ) dans les tests post hoc, qui représentent la hiérarchie articulatoire des catégories étroites pour chacune des 102 mesures communes restantes (Annexes III.1 et III.2).

Rappelons néanmoins que le nombre de mesures articulatoires n'est pas totalement équivalent à celui des phénomènes articulatoires mesurés, du fait de la prise en compte de différentes échelles pour les mesures temporelles. Ainsi, les résultats obtenus ici peuvent être amplifiés, si pour un phénomène temporel articulatoire donné plusieurs types de mesure temporelle ressortent du fait d'une corrélation possible.

Les résultats relatifs au comptage des différentes possibilités d'agencement hiérarchique selon leur contiguïté et leur distinction statistique pour chacun des couples de catégories prosodiques étroites dans les mesures communes sont présentés dans le tableau III.1.3.

**Tableau III.1.3** – Pour les mesures articulatoires communes retenues, nombre et pourcentage de cas où les deux catégories étroites d'une même catégorie large<sup>46</sup> sont contiguës dans la hiérarchie articulatoire, où elles ne le sont pas, où elles sont contiguës et significativement distinguées et où elles ne sont pas contiguës mais significativement distinguées dans les tests post hoc

		INA (SY-MO)	ACC (AM-AS)	ICT (CM-CT)	ICC (TN-TM)
nb des mesures communes		81	102	102	102
cas de contiguïté hiérarchique	<i>nb</i>	45	54	42	46
	%	56	53	41	45
cas de non contiguïté hiérarchique	<i>nb</i>	36	48	61	56
	%	44	47	60	55
cas de contiguïté et de différence sign.	<i>nb</i>	8	6	2	16
	%	10	6	2	16
cas de non contiguïté et de différence sign.	<i>nb</i>	23	27	33	31
	%	28	33	32	30

Dans environ 45 % des cas pour les catégories INA et ACC, et dans 55 à 60 % pour les catégories ICT et ICC, les mesures articulatoires montrent que les catégories étroites ne se regroupent pas selon leur catégorie large dans les hiérarchies articulatoires. La non contiguïté des catégories étroites est majoritaire pour les catégories intonatives (ICT et ICC), alors qu'elle est minoritaire pour les catégories accentuelles (INA et ACC).

Cela indique qu'au niveau articulatoire la dépendance des catégories étroites envers la catégorisation prosodique large est moins marquée pour les faits intonatifs que pour les faits non intonatifs. La catégorisation large des catégories intonatives étroites pourrait donc être plus discutable au regard des comportements articulatoires que celle opérée pour les catégories accentuelles étroites.

En d'autres termes, si on considère que le regroupement prosodique des catégories étroites n'est pas incohérent, il semble qu'au niveau des co-variations articulatoires le lien entre les catégories larges et étroites soit plus relâché pour les faits d'intonation que pour les faits d'accentuation.

Cependant, cela pourrait également signifier que les co-variations articulatoires et coarticulatoires accompagnant la structure prosodique de l'énoncé sont prises en compte de manière plus inadéquate par la catégorisation large intonative que par la catégorisation large accentuelle. Nous n'avons, en l'état actuel des choses, pas de réponse claire à donner à cette question.

S'agissant des cas où deux catégories étroites de la même catégorie large sont adjacentes et significativement distinguées dans les tests post hoc, les résultats montrent que relativement peu de mesures articulatoires répondent à ce profil. Seul au plus 16 % des mesures articulatoires sont concernées, les catégories ICC et INA l'étant plus que ACC, et ICT quasi pas.

Cette différence significative un peu plus importante pour les catégories étroites composant ICC peut être interprétée par le fait qu'au niveau phonétique, intonations conclusives mineure (TN) et majeure (TM) sont très différentes selon l'amplitude des paramètres suprasegmentaux. Nous avons noté, lors de l'analyse prosodique, que TN avait une position relativement flottante dans la hiérarchie prosodique formelle selon les locuteurs et le paramètre considéré. Nous avons principalement déterminé sa position selon un point de vue prosodique fonctionnel. Il n'est donc peut-être pas étonnant que cet instabilité hiérarchique prosodique de TN ressorte au niveau articulatoire par le fait qu'il se différencie statistiquement de son acolyte majeur plus souvent que pour les autres catégories prosodiques.

Globalement, il apparaît que s'il y a contiguïté des catégories étroites dépendantes d'une même catégorie large, celles-ci ne sont que rarement significativement différentes au regard du marquage articulatoire concomitant à la structure prosodique (de 2 à 16 % des cas). Cela indique que la catégorisation étroite ne sous-spécifie pas de manière systématique la catégorisation large au niveau

<sup>46</sup> Pour lesquelles les deux catégories étroites d'une même catégorie large sont représentées : les cas manquant pour la catégorie large INA correspondent tous au contexte /kl/ qui n'a pas de catégorie étroite SY.

articulatoire.

Enfin, les cas où les deux catégories étroites d'une même catégorie large ne sont pas contiguës, mais par contre significativement distinguées dans la hiérarchie articulatoire des tests post hoc, représentent environ 30 % des mesures retenues. De ce point de vue, il n'y a pas de différence nette dans le comportement des quatre catégories larges.

Ce résultat semble traduire le fait que dans une proportion importante la catégorisation étroite est relativement loin de détailler adéquatement la catégorisation large pour ce qui est des réalisations articulatoires en fonction de la structure prosodique hiérarchique.

En fin de compte, il ressort que dans les mesures articulatoires, si les cas de contiguïté sont relativement aussi nombreux que les cas de non contiguïté des deux catégories prosodiques étroites appartenant à la même catégorie large, leur distinction statistique est logiquement plus importante quand elles ne sont pas contiguës dans la hiérarchie articulatoire, que quand elles le sont.

### **3.3. La hiérarchie des catégories prosodiques étroites ne sous-spécifie pas strictement celle en catégories larges**

Ainsi, si nous recoupons tous ces faits relatifs à une possible sous-spécification adéquate au niveau articulatoire des catégories prosodiques larges par les catégories étroites, nous constatons que ce n'est très probablement pas le cas.

En effet, la hiérarchisation étroite se différencie de la large dans bien des cas. Quatre différences générales ressortent :

- (1) il y a très peu de cas de différence statistique significative quand les catégories étroites occupent des positions hiérarchiques compatibles à celles supposées par la hiérarchie large ;
- (2) dans plus ou moins 50 % des cas, les catégories étroites ne sont pas adjacentes dans la hiérarchie articulatoire ;
- (3) dans plus ou moins 30 % des cas, la séparation positionnelle des catégories étroites s'accompagne d'une distinction statistique ;
- (4) que les catégories étroites, relevant de la même catégorie large, soient adjacentes ou non dans la hiérarchie articulatoire, le nombre de cas montrant une distinction statistique entre elles ne représente jamais guère plus de 40 % : pour INA 38 %, pour ACC 39 %, pour ICT 34 % et pour ICC 46 %.

Ces résultats traduisent le fait que les catégories étroites ne permettent pas réellement au niveau articulatoire de préciser les informations fournies par la catégorisation large de façon fiable, ou en tout cas adéquate à leur regroupement dans les catégories larges choisies ici, les cas en attestant paraissant trop épisodiques.

On ne peut donc pas dire qu'une amélioration toujours cohérente, nette et robuste, dans le sens d'une systématicité importante, soit apportée par cette sous-composition des catégories prosodiques larges, s'agissant de la description des co-variations articulatoires et coarticulatoires en fonction de la structure prosodique.

Il apparaît donc globalement que soit la correspondance prosodique phonético-fonctionnelle proposée ici entre catégorisation large et catégorisation étroite est en partie rompue au niveau articulatoire, soit que ce mapping n'est en fait pas trop mauvais, mais pas assez bon non plus pour améliorer sensiblement la description des phénomènes observés.

## **4**

### ***Conclusions sur la comparaison des deux hiérarchies prosodiques envisagées***

Deux raisons essentielles, exclusivement qualitatives, concourent à penser que notre



hiérarchisation étroite n'apporte pas de gain descriptif important dans notre analyse des phénomènes de co-variations entre articulation et prosodie.

La première relève du fait que ce niveau prosodique de description apparaît dans une large mesure trop détaillé pour les phénomènes considérés ici. En effet, il semble que, malgré toutes les précautions prises, la mobilité hiérarchique des catégories prosodiques étroites dans les hiérarchies articulatoires fasse apparaître plus nettement la variabilité aléatoire des phénomènes articulatoires naturels observés et celle relatives aux comportements individuels, stratégiques ou non, des locuteurs.

Il est ainsi logique que les répercussions de la variabilité soient plus importantes sur des catégories fines et détaillées que sur des catégories plus élémentaires. Une granularité plus fine de résolution ou de définition fait évidemment mieux ressortir les différences ou les défauts qu'une granularité d'analyse plus grossière. On pouvait cependant penser d'un autre côté qu'elle était souhaitable et envisageable pour rendre compte des phénomènes qui nous préoccupent ici.

Néanmoins, dans notre analyse, ce niveau descriptif semble inutile. Dans les hiérarchies articulatoires issues de nos mesures, nombre de mouvements positionnels des catégories prosodiques étroites considérées restent « non expliqués » par notre hypothèse relative à la position attendue dans la hiérarchie prosodique testée.

La seconde raison est peut-être plus profonde et moins définitive. Elle est relative au fait que l'agencement proposé entre catégories larges et étroites est peut-être mal adapté pour rendre compte des phénomènes observés.

Dans ce cas, ce n'est pas seulement la hiérarchie prosodique étroite qui est remise en cause, mais aussi la hiérarchie, ou tout du moins la catégorisation, prosodique large. En effet, dans le cas d'une correspondance inappropriée des catégorisations entre elles et/ou au regard des phénomènes observés, on pourrait s'attendre à ce type de résultats.

Pour éprouver cette hypothèse, il serait intéressant de tester différents agencements hiérarchiques possibles des catégories prosodiques étroites en fonction de différents regroupements larges justifiables théoriquement. La comparaison quantitative et qualitative des résultats obtenus par leur confrontation aux phénomènes de co-variations entre articulation et prosodie, nous apprendrait peut-être quel type de catégorisation prosodique, doublement articulée selon les niveaux large et étroit, rend compte des faits de manière plus adaptée.

Laissant ces questions ouvertes sur l'avenir, nous n'avons donc pas retenu, dans notre analyse, les résultats des mesures articulatoires se rapportant à la hiérarchie prosodique étroite pour rendre compte de la localisation et de la nature des corrélats articulatoires et coarticulatoires de la structure prosodique.

## Chapitre 2

### ***Localisation et nature des corrélats articulatoires de la hiérarchie prosodique***

Les mesures présentées dans ce chapitre concernent essentiellement les mesures articulatoires inter-individuelles ressorties communément des comparaisons avec les deux hiérarchies prosodiques, large et étroite. Elles représentent 14 % des mesures effectuées inter-individuellement tous groupes de consonnes confondus (soit 102 / 712). Nous avons fait ce choix afin d'augmenter le degré de confiance dans les mesures articulatoires effectuées et donc dans les phénomènes observés.

L'analyse des co-variations articulatoires et coarticulatoires de la structure prosodique n'est abordée qu'en fonction de la hiérarchie en catégories larges. Néanmoins, nous fournissons en annexe les résultats concernant la hiérarchie prosodique en catégories étroites, nous y faisons également référence s'agissant de la voyelle accentuée V1.

Pour plus de commodité, dans chaque tableau de résultats des tests post hoc, un numéro d'index de chaque mesure articulatoire est indiqué dans la colonne de droite (à gauche, le numéro d'index relatif à la hiérarchie large, HPL, et à droite, celui concernant la hiérarchie étroite, HPE). A partir de ce numéro, le lecteur peut retrouver les informations détaillées sur les résultats présentés dans l'Annexe III.1 pour la hiérarchie large, et dans l'Annexe III.2 pour la hiérarchie étroite.

Dans ce chapitre, nous cherchons à préciser la nature et la localisation dans les séquences 'V1C1#C2V2 des phénomènes articulatoires et coarticulatoires linguopalataux répondant de manière systématique inter-individuellement à la hiérarchie prosodique large.

Dans une première partie, nous exposons d'abord les faits qui se réfèrent à l'articulation des segments individuels composant la séquence : V1, V2, C1 et C2.

Puis, dans une seconde, nous rendons compte des résultats qui concernent la coarticulation entre segments contigus appartenant à la rime de la syllabe finale pré-frontalière, V1C1#, à la syllabe initiale post-frontalière, #C2V2, et enfin à la séquence consonantique trans-frontalière, C1#C2.

Enfin, dans une troisième partie, nous nous intéressons au timing entre les segments non adjacents dans la séquence séparés par la frontière syllabique, lexicale et prosodique (accentuelle ou intonative), à savoir V1#C2 et C1#V2.

## 1

### ***Corrélats articulatoires segmentaux***

Cette partie concerne les phénomènes articulatoires liés aux segments individuels composant la séquence 'VC#CV et répondant à un effet systématique de la hiérarchie prosodique large.

Nous abordons tout d'abord les résultats relatifs aux segments vocaliques, à la voyelle accentuée (V1) puis à la voyelle post-tonique (V2), et ensuite aux segments consonantiques : la consonne codaque de la syllabe accentuée (C1), puis la consonne d'attaque de la syllabe post-tonique (C2).

## 1.1. Articulation vocalique

### 1.1.1. La voyelle finale V1

Les quatre types de mesures effectuées sur la voyelle accentuée répondent systématiquement à un effet graduellement croissant de la hiérarchie prosodique large. Trois sont temporelles et la quatrième spatiale. Le tableau III.2.1 résume les résultats des tests post hoc concernant ces mesures.

**Tableau III.2.1** – Tests post hoc et étendue moyenne (*étend.* : valeur moyenne de la catégorie la plus haute dans la hiérarchie - valeur moyenne de la catégorie la plus basse dans la hiérarchie) pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues, pour HPL (à gauche) et HPE (à droite) concernant la voyelle accentuée (V1)

type de mesure	mesure	gpcs	HPL : tests post hoc	étend.	HPE : tests post hoc	étend.	index
durée	dur.voy	kl	INA < ACC < ICT < ICC	30,7	MO < AM < AS < CM < (TN)-CT < TM	36,0	8-8
		kt	INA < ACC < ICT < ICC	31,8	SY-MO < AM-AS-CM < (TN)-CT < TM	37,6	14-14
		lk	INA < ACC < ICC < ICT	46,2	SY-MO < AM < AS < TN < TM < (CM)-CT	49,3	19-18
		tk	INA < ACC < ICC < ICT	39,7	SY < AM-AS-MO < TN < CM < TM-CT	54,3	22-21
	dur.min	kl	INA < ACC < ICT < ICC	30,1			9-9
		kt	INA < ACC < ICT < ICC	22,8			15-15
		lk	INA-ACC < ICC < ICT	42,7			20-19
		tk	INA-ACC < ICC < ICT	28,1			23-22
proportion	pct.min	kl	INA-ACC < ICT < ICC	17,4		10-10	
spatial	mct.min	kl	ICT-ICC < ACC < INA	5,8		11-11	
		lk	ICT < ICC-ACC-INA	2,7		21-20	
		tk	ICT-ICC < ACC < INA	7,5		24-23	

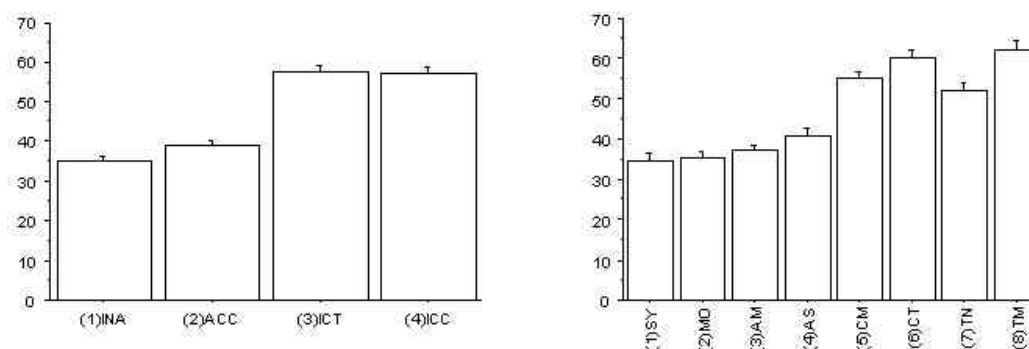
#### 1.1.1.a. L'allongement vocalique

La durée acoustique de la voyelle V1 (*dur.voy*) augmente significativement avec la hiérarchie prosodique (hormis une inversion entre ICC et ICT pour les groupes ayant une consonne antérieure en coda). La différence moyenne de durée (*étendue*) est de 37 ms environ entre une position en syllabe inaccentuée et en finale de groupe intonatif. Cette mesure répond également assez bien à la hiérarchie prosodique étroite.

Ce résultat est très attendu, car il permet une vérification de la procédure de sélection des mesures utilisée. Dans le cas où il ne serait pas apparu, on aurait pu avoir un énorme doute sur la capacité de la procédure à rendre compte des phénomènes que l'on veut observer, du fait que le calcul de l'allongement vocalique (paramètre suprasegmental) repose principalement sur la durée de la voyelle finale accentuée. Dès lors une corrélation importante est obligatoire, ce qui se traduit par la grande similitude des résultats articulatoires post hoc avec ceux obtenus pour l'analyse prosodique sur l'allongement, tant pour HPL que HPE (cf. §II.2:2.2 et §II.2:2.3).

Plus intéressant, la durée de la partie de la voyelle montrant un minimum de contacts EPG (*dur.min*) répond également systématiquement pour les quatre groupes de consonnes à la hiérarchie prosodique large, mais aussi à l'étroite (figure III.2.1). La phase d'ouverture linguopalatale maximale de la voyelle est significativement allongée selon l'importance hiérarchique de la catégorie prosodique. Cette ouverture maximale permet de distinguer au moins trois niveaux de frontière prosodique.

La voyelle accentuée est ouverte maximale plus longtemps, plus la position de la catégorie prosodique est hiérarchiquement élevée, l'allongement le plus net concerne les catégories intonatives au regard des catégories non intonatives (figure III.2.1).

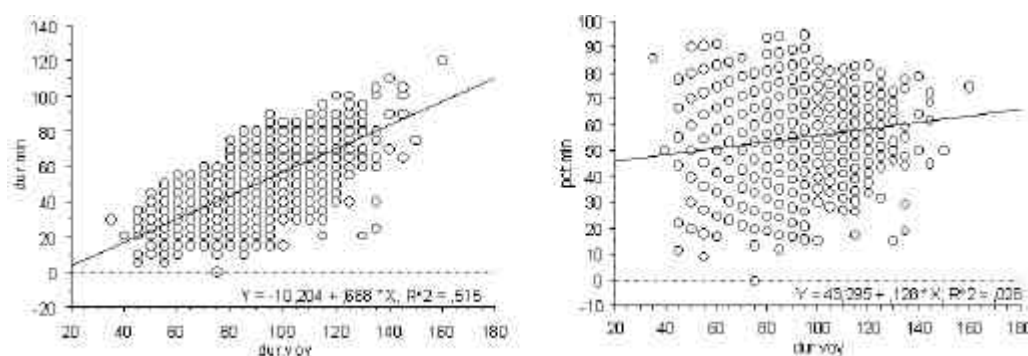


**Figure III.2.1** – Durée moyenne de la phase d'ouverture maximale de la voyelle V1 (*dur.min*) selon les catégories prosodiques larges (à gauche) et étroites (à droite), tous groupes et locuteurs confondus

L'allongement de cette phase semble en bonne partie dû à celui plus général de la voyelle, et moins à l'influence directe et spécifique de l'accentuation et de l'intonation.

En effet, la régression linéaire effectuée entre durée acoustique de la voyelle et durée de son ouverture maximale (figure III.2.2, à gauche) montre que la majeure partie de la variabilité de la durée de cette phase est expliquée par l'allongement global de la voyelle ( $r^2 = 0,515$  ;  $p < 0,0001$ ).

Cependant, on pourrait également très bien supposer que la durée de la voyelle est allongée du fait d'une proportion de son ouverture maximale de plus en plus longue selon la hiérarchie prosodique.



**Figure III.2.2** – Régression linéaire entre la durée de la voyelle V1 (*dur.voy*) et la durée de son ouverture linguopalatale maximale (*dur.min*) ou sa proportion (*pct.min*), et coefficient de corrélation ( $r^2$ ). Ne sont prises en compte que les données des contextes consonantiques et les locuteurs retenus pour la mesure (cf. annexe III.1)

Tant les résultats des tests post hoc sur cette mesure (*pct.min*, tableau III.2.1) que la régression linéaire entre la proportion de l'ouverture maximale et la durée totale de la voyelle sont clairs à ce propos. D'une part, aucune tendance nette de corrélation entre ces deux paramètres n'apparaît dans le graphique de régression linéaire (figure III.2.2, à gauche). D'autre part, les tests post hoc montrent que la proportion de l'ouverture maximale n'est soumise à l'influence de la hiérarchie prosodique que pour un groupe sur quatre.

L'allongement de l'ouverture maximale de la voyelle pourrait n'être qu'une conséquence indirecte de l'influence des catégories prosodiques, s'exerçant principalement sur la durée vocalique et par répercussion sur cette phase essentielle de la voyelle.

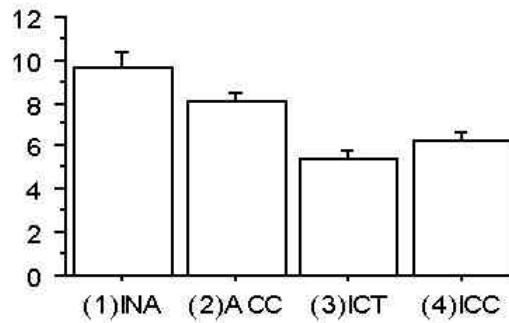
### 1.1.1.b. L'ouverture vocalique

Les résultats post hoc montrent également que le degré de contact linguopalatal minimum (*mct.min*, tableau III.2.1) diminue progressivement plus la catégorie est élevée dans la hiérarchie prosodique. L'amplitude de l'ouverture maximale augmente selon deux à trois niveaux prosodiques pour trois des quatre contextes consonantiques observés. La langue est plus basse des catégories

intonatives à la catégorie accentuée, et de la catégorie accentuée à la catégorie inaccentuée.

La voyelle est caractérisée par une ouverture linguopalatale plus grande (c'est-à-dire un contact EPG plus réduit), plus les catégories prosodiques sont importantes hiérarchiquement, tant pour la hiérarchie prosodique large (figure III.2.3) que globalement pour l'étroite (figure III.2.4), malgré un léger rehaussement du contact EPG en intonation conclusive.

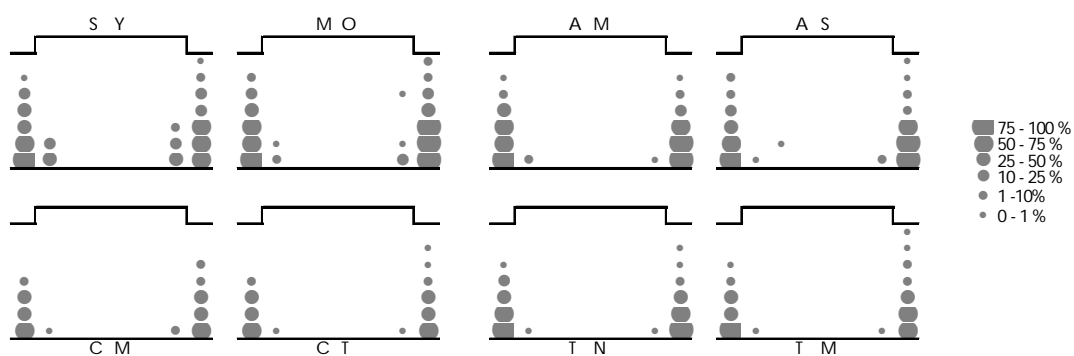
Cette réduction du contact linguopalatal pourrait être également attribuée à une postériorisation vélaire ou pharyngale de l'articulation de V1 en positions accentuées, comme les travaux de Giot (1977) ou de Engstrand (1988) ont pu le montrer au sujet de l'accent.



**Figure III.2.3** – Pourcentage moyen de contacts EPG lors de la phase d'ouverture maximale de la voyelle V1 selon les catégories prosodiques larges, tous groupes et locuteurs confondus

La figure III.2.4 montre les contacts EPG cumulés dans la phase d'ouverture maximale pour tous les items (tous les contextes consonantiques et locuteurs confondus).

Il apparaît que les contacts EPG postérieurs les plus centraux et les contacts latéraux les plus antérieurs diminuent régulièrement avec l'importance du marqueur prosodique. Ce comportement linguopalatal tendrait à traduire une légère postériorisation de l'articulation suivant la hiérarchie prosodique. Cependant, il est avéré qu'une ouverture mandibulaire plus grande affecte plus les articulations linguales antérieures que postérieures (Kent & Netsell 1971, Farnetani & Faber 1992). Il est donc difficile au seul regard des données EPG de trancher, postériorisation et ouverture plus ample étant peut-être concomitantes.



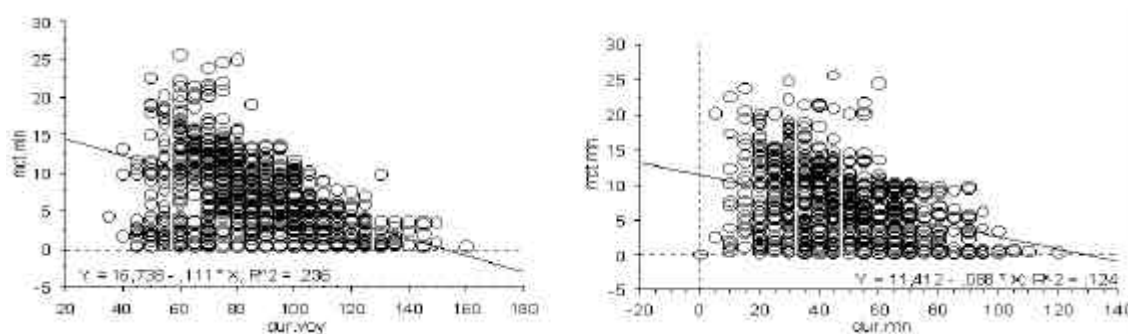
**Figure III.2.4** – Pourcentage cumulé des contacts EPG lors de la phase d'ouverture maximale de la voyelle V1 (*dur.min*) selon les catégories prosodiques étroites, tous groupes et locuteurs confondus

Selon les notions d'*overshoot* et d'*undershoot* (Lindblom 1963, Moon & Lindblom 1994), l'amplitude articuloire plus importante des voyelles accentuées pourrait n'être qu'une conséquence de leur allongement.

L'EPG n'est pas très approprié pour tester efficacement ce type d'hypothèse, du fait qu'il offre une fenêtre spatiale et temporelle tronquée des gestes de la langue (cf. §II.3:1.2.3), et d'un effet planché inhérent des taux de contacts. On peut tout même se risquer à déterminer dans quelle mesure les

durées de la voyelle et de l'ouverture maximale sont corrélées à l'amplitude du contact linguopalatal.

Les régressions linéaires effectuées montrent qu'il y a une certaine tendance à ce que plus la durée augmente, plus le taux de contacts EPG soit faible et moins variable (figure III.2.5). Cette tendance paraît plus nette au regard de la durée acoustique de la voyelle ( $r^2 = 0,236$ ) que de sa seule phase d'ouverture maximale ( $r^2 = 0,124$ ).



**Figure III.2.5** – Régressions linéaires entre, d'une part, le minimum de contacts EPG (*mct.min*) et, d'autre part, la durée acoustique (à gauche) ou la durée de son ouverture maximale (à droite) de la voyelle V1, tous groupes et locuteurs confondus

Bien que, dans nombre de cas, des contacts EPG très réduits pour des durées brèves sont réalisés, il semble qu'amplitude et durée vocalique soient tout de même dans une certaine mesure reliées entre elles, même si les informations articulatoires fournies par l'EPG sont assez limitées s'agissant des voyelles ouvertes (cf. §II.3:1.1).

En conclusion, concernant le marquage articulatoire de la voyelle finale, il ressort que c'est principalement selon sa durée acoustique globale que celui-ci s'effectue. En effet, comme attendu, elle s'allonge graduellement en fonction de la catégorie prosodique hiérarchiquement croissante, des syllabes finales de regroupement intonatif, aux syllabes accentuées (finales ou internes de mot prosodique), aux syllabes inaccentuées (finales ou internes de mot lexical).

Cet allongement général semble induire également une ouverture linguopalatale maximale plus longue et plus ample de la voyelle. Son articulation spatio-temporelle est graduellement plus extrême, plus les catégories prosodiques occupent une place élevée dans la hiérarchie prosodique large. Trois à quatre niveaux hiérarchiques sont ainsi généralement distingués de manière catégorielle : inaccentué < accentué < intonatif.

Cette articulation renforcée en contextes accentués de la voyelle ouverte /a/ est un résultat attendu, nombre de travaux l'ayant déjà largement montré (cf §I.2:1.1.1). Le résultat le plus intéressant est relatif au fait que le geste linguopalatal, tant dans sa dimension spatiale que temporelle, semble relativement bien accompagner la hiérarchie prosodique.

En cela nos résultats rejoignent ceux de Fougeron et Keating (1997) qui montrent qu'en anglais la voyelle ouverte postérieure /o/ en finale de mot est moins ouverte (plus de contacts EPG), qu'en finale de mot prosodique ou de groupe intonatif.

Malgré leur circonspection (« *It seems that above the word, final /o/'s are simply always quite open, their degree of openness depending very little on their hierarchical prosodic position* », p. 3735), du fait de variations dans le nombre et le type de niveaux prosodiques distingués par leurs sujets, il ressort tout de même dans leur étude que, pour deux des trois locuteurs, le taux de contacts EPG dans la voyelle diminue significativement et graduellement en finale de constituant selon une hiérarchie prosodique à trois niveaux : syllabe interne de mot < syntagme phonologique < groupe intonatif.

### 1.1.2. La voyelle post-tonique V2

Concernant la voyelle post-tonique (V2), très peu de mesures articulatoires répondent inter-individuellement de manière assez étroite à l'effet de la hiérarchie prosodique large. Trois mesures différentes ressortent de notre procédure d'analyse, chacune représentant trois groupes pré-vocaliques

différents.

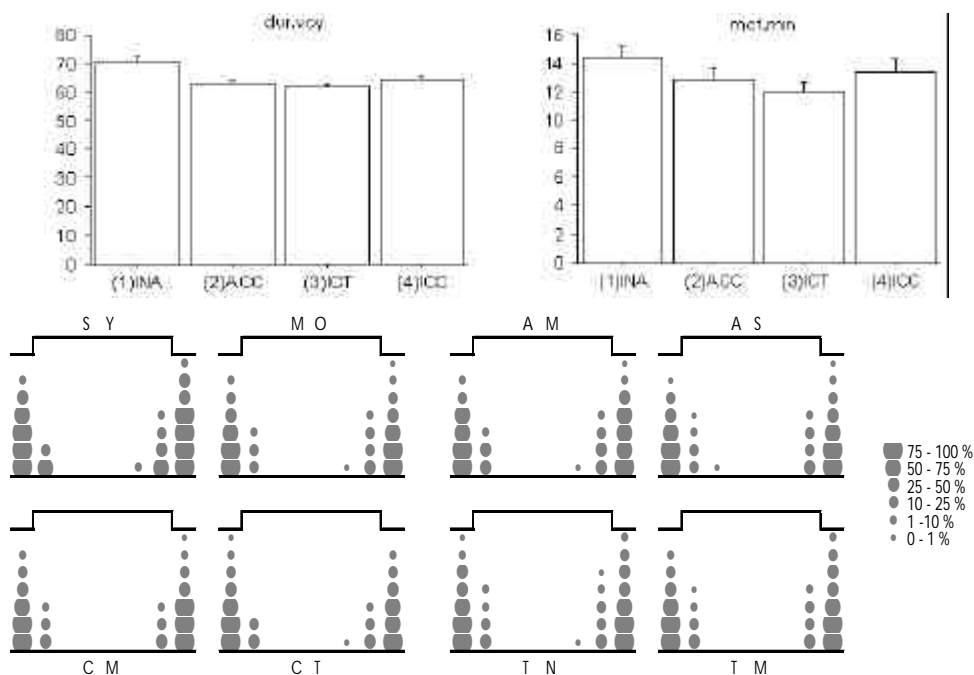
Cette position dans la séquence, 'VC#CV, n'apparaît donc pas véritablement comme un lieu privilégié inter-individuellement pour le marquage articuloire de la structure hiérarchique prosodique.

**Tableau III.2.2** – Tests post hoc et étendue moyenne pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues concernant la voyelle post-tonique (V2)

temporel	mesure	gpcs	tests post hoc	étendue	index
durée	dur.voy	kt	ICT-ICC-ACC < INA	11,8	89-91
	dur.min	kl	ICT < ICC-ACC < INA	27,3	88-90
proportion	pct.min	tk	INA < ACC-ICT < ICC	19,0	90-96

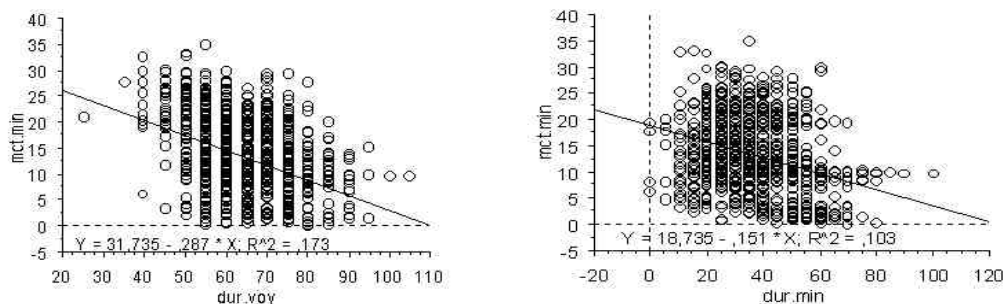
Si l'on s'attache aux tendances générales concernant ces mesures, on peut constater que, tous locuteurs et tous groupes de consonnes confondus, la voyelle post-tonique tend à être plus courte après une syllabe accentuée ou une frontière intonative qu'après une inaccentuée (figure III.2.6, à gauche). Bien que dans le contexte /tk/ la proportion de l'ouverture maximale de la voyelle augmente selon la hiérarchie prosodique, d'un point de vue général, ce résultat est inversé.

L'examen de l'amplitude d'ouverture maximale selon la hiérarchie prosodique ne montre pas de modification spatiale significative du geste linguopalatal de la voyelle dans cette position (figure III.2.6, à droite et en bas).



**Figure III.2.6** – Durée acoustique (*dur.voy*, à gauche), pourcentage moyen de contacts EPG lors de la phase d'ouverture maximale (*mct.min*, à droite) et cumul des taux de contacts EPG durant cette phase (en bas) de la voyelle V2 selon les catégories prosodiques larges et étroites, tous groupes et locuteurs confondus

De plus, la corrélation entre la durée de la voyelle, ou de son ouverture maximale, et son amplitude d'ouverture linguopalatale maximale ne permet pas d'établir une relation nette entre ces paramètres (figure III.2.7), comme cela tend à l'être pour la voyelle accentuée V1 (figure III.2.5).



**Figure III.2.7** – Régressions linéaires entre, d'une part, le minimum de contacts EPG (*mct.min*) et, d'autre part, la durée acoustique (à gauche) ou la durée de son ouverture maximale (à droite) de la voyelle inaccentuée (V2), tous groupes et locuteurs confondus

Les tendances dégagées ici, même si elles ne sont pas significatives et peu marquées, rejoignent partiellement les résultats de Fougeron (1998) sur le français et de Fougeron et Keating (1997) sur l'anglais.

S'agissant de la durée des voyelles /i, a,  $\tilde{a}$ / en syllabe initiale de constituant, Fougeron (1998) ne dégage pas non plus d'effet cohérent ou systématique de la hiérarchie prosodique. Si certaines variations de leur durée acoustique apparaissent, elles ne suivent pas clairement le niveau de la frontière prosodique précédente. Et si une tendance très limitée ressort, elle montre plutôt une durée plus courte de la voyelle en initiale de constituants prosodiques élevés.

Fougeron & Keating (1997) ne rapportent pas non plus d'effet temporel de la hiérarchie prosodique pour la voyelle /o/ en syllabe initiale de constituant.

De même, Byrd (2000) ne note qu'un léger allongement de la voyelle /i/ après une frontière mineure ou majeure intonative comparée à une position interne de constituant prosodique ; cependant, cet effet ne concerne qu'un locuteur sur les trois observés.

Concernant le degré d'ouverture de la voyelle, Fougeron & Keating (1997) observent en anglais une tendance à ce qu'en position initiale la voyelle ouverte postérieure /o/ en syllabe CV montre une réduction du contact EPG plus marquée selon l'importance hiérarchique du constituant prosodique. Elles notent que la position initiale de syllabe interne de mot et, dans une moindre mesure, initiale de mot rendent compte globalement d'une ouverture/postériorité moins importante de la voyelle que la position initiale de constituants prosodiques plus élevés. Cette tendance est cependant très soumise à la variabilité inter-individuelle.

Fougeron (1998) montre que le contact linguopalatal de /i/ est plus large, pour les deux locuteurs observés, entre une position initiale de mot et initiale de groupe accentuel ou intonatif ; mais cette distinction est binaire et non graduelle selon la hiérarchie prosodique.

Il apparaîtrait donc globalement que la voyelle /a/ post-tonique n'est pas très sensible à l'influence graduellement croissante de la hiérarchie prosodique. Seule véritablement sa durée acoustique paraît réduite de façon binaire entre un contexte inaccentué et une position post-accentuelle. La magnitude et la durée de son ouverture linguopalatale maximale semblent peu sujettes à la hiérarchie prosodique.

Cependant, si des tendances générales sont observées, elles semblent aller dans le sens d'un renforcement de l'ouverture des voyelles ouvertes et de la fermeture des fermées. Reste que les différences globales observées sont très faibles, par exemple, de l'ordre de 5 ms pour la durée vocalique, ce qui correspond à l'intervalle temporel entre deux trames EPG.

## 1.2. Articulation consonantique

S'agissant de l'articulation des consonnes, codaiques de syllabe tonique (C1) et en attaque de syllabe post-tonique (C2), comme pour V2, les résultats de la procédure de sélection des mesures articulatoires montrent que seulement deux à trois mesures articulatoires dans deux contextes



consonantiques différents répondent inter-individuellement de manière assez étroite à un effet de la hiérarchie prosodique large.

Nous n'avons dès lors que des résultats généraux à présenter ici.

### 1.2.1. La consonne finale C1

La consonne codaïque de la syllabe pouvant porter les marques prosodiques ne montre pas un effet général homogène et systématique dans le comportement articulatoire des locuteurs pour la hiérarchie des catégories prosodiques larges.

Seuls deux résultats ponctuels ressortent de notre procédure d'analyse inter-individuelle : un allongement de /t/ en position codaïque et une postériorisation des contacts EPG de la consonne codaïque /l/ augmentant plus la catégorie prosodique est hiérarchiquement importante (tableau III.2.3).

**Tableau III.2.3** – Tests post hoc et étendue moyenne pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues concernant la consonne codaïque de la syllabe finale (C1)

type de mesure	mesure	gpcs	tests post hoc	étendue	index
durée	dur.cs	tk	ACC-(INA) < ICT < ICC	15,4	100-109
spatial	iAP.dmx	lk	INA < ACC < (ICT)-ICC	0,4	98-107

Ce second point n'est pas en accord avec l'hypothèse d'un renforcement du trait distinctif d'antériorité de la consonne /l/. Deux explications sont possibles.

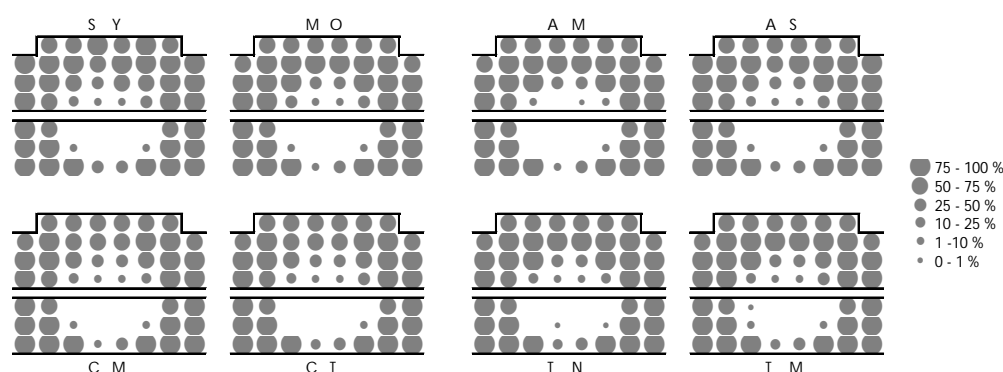
Tout d'abord, nombre d'études rendent compte d'une ouverture mandibulaire plus grande des voyelles ouvertes accentuées ou en finale de constituant, ce qui est également vrai ici pour la voyelle V1 précédant la consonne /l/. Les travaux articulatoires montrent également que les gestes linguopalataux antérieurs de l'apex sont les plus affectés par une ouverture plus importante de la mâchoire (Kent & Netsell 1971, Farnetani & Faber 1992). L'influence de l'ouverture plus ample de la voyelle accentuée précédente peut donc provoquer une postériorisation du lieu d'articulation antérieure de /l/.

D'autre part, Fougeron (1998) montre que l'augmentation des contacts EPG lors d'un renforcement de la constriction des consonnes antérieures est réalisée par une extension de la zone de contact linguopalatal vers l'arrière du palais dur. L'indice de postériorité du lieu d'articulation linguopalatal utilisé ici étant très sensible au déplacement des contacts EPG, un léger élargissement vers l'arrière sera amplifié, sans que la mesure du taux maximal de contacts linguopalataux (*mct.max*) ne montre elle-même un effet.

#### 1.2.1.a. Un allongement consonantique

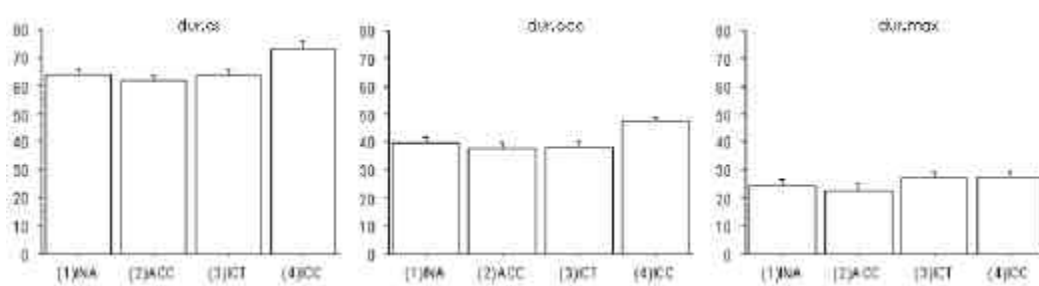
Si l'on occulte les effets croisés complexes et nécessairement importants entre comportement individuel, groupe de consonnes et catégorie prosodique, on peut tout de même dégager quelques tendances très globales concernant l'articulation de C1. Les résultats les plus clairs concernent les aspects relatifs à la dimension temporelle. Même s'ils ne rendent pas compte d'une correspondance étroite entre hiérarchie prosodique et articulatoire, ils montrent que certaines catégories, typiquement INA et ICC, se distinguent sous certains aspects des autres de manière assez nette.

Tout d'abord, d'un point de vue spatial, relatif au nombre et à la localisation des contacts EPG, rien ne ressort clairement, même de manière globale. Pour illustration, la figure III.2.8 montre le taux de contacts EPG cumulé sur toute la durée de la constriction linguopalatale maximale dans la zone antérieure pour les consonnes d'avant /l/ et /t/ et postérieure pour la consonne d'arrière /k/, selon les catégories prosodiques étroites. Aucun effet particulier ne semble pouvoir concerner l'amplitude de contact de la consonne codaïque en fonction de la hiérarchie prosodique.



**Figure III.2.8** – Pourcentage cumulé des contacts EPG, dans la zone antérieure (haut du palais) pour /t, l/ et postérieure (bas du palais) pour /k/, lors de la phase de constriction maximale de la consonne C1 selon les catégories prosodiques étroites, tous groupes et locuteurs confondus

L'analyse générale de la durée de la consonne et de ses phases d'occlusion et de tenue (constriction maximale) montre que seule l'intonation conclusive tend à se distinguer de toutes les autres catégories par un allongement global de la consonne et de son occlusion de l'ordre de 10 ms (figure III.2.9).



**Figure III.2.9** – Durées EPG du geste (*dur.cs*, à gauche), de l'occlusion (*dur.occ*, au centre) et de la constriction maximale (*dur.max*, à droite) de la consonne C1 selon les catégories prosodiques larges, tous groupes et locuteurs confondus

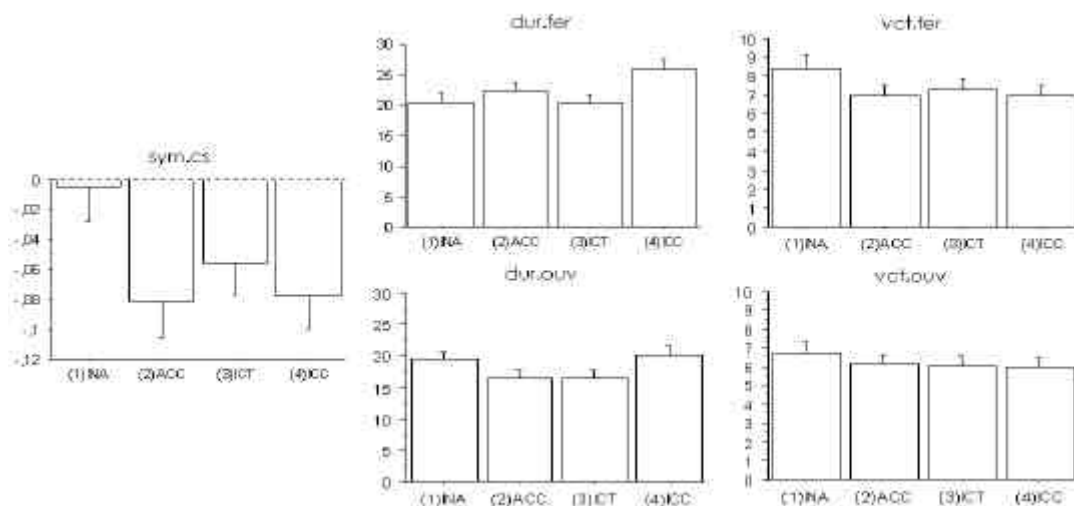
La durée légèrement plus longue de la tenue en frontière intonative n'est que très faible, ne dépassant pas en moyenne 4,5 ms entre les deux catégories les plus éloignées (ICC et ACC), et n'est significative qu'entre ICC et INA et ACC, et entre ICT et ACC.

### 1.2.1.b. Une asymétrie temporelle

Les données EPG ne permettent pas réellement de tester les hypothèses sur la dynamique des gestes articulatoires du fait que ce ne sont pas les mouvements de la langue qui sont observés dans leur globalité, mais simplement l'évolution spatio-temporelle du contact linguopalatal. Il est donc impossible de mesurer leur vélocité, par exemple. Néanmoins, la vitesse d'augmentation ou de diminution des contacts EPG lors des phases de fermeture et d'ouverture peut nous permettre de nous risquer à une évaluation approximative de ces phénomènes.

L'examen de la symétrie temporelle entre la fermeture (*dur.fer*) et l'ouverture (*dur.ouv*) de la consonne révèle globalement que la consonne codaique de syllabe inaccentuée montre un patron quasi symétrique entre ces deux phases. Par contre, en syllabes accentuées (accent ou intonation), il montre un patron plus asymétrique (négatif) du fait d'une fermeture plus longue que l'ouverture (figure III.2.10, à gauche).

Cet allongement spécifique de la fermeture de la consonne finale de constituant en contexte accentué (figure III.2.10, en haut au centre) semble en partie dû à un ralentissement de la vitesse d'augmentation des contacts linguopalataux (figure III.2.10, en haut à droite), c'est-à-dire d'élévation et de constriction de la langue contre le palais dur. L'ouverture rend compte également de ce phénomène, mais sur un mode nettement plus réduit (figure III.2.10, en bas à droite). De plus, sa durée n'apparaît pas augmenter en contexte accentué ou intonatif.



**Figure III.2.10** – Symétrie temporelle entre les phases de fermeture et d'ouverture (*sym.cs*, à gauche), durée de la fermeture (*dur.fer*, en haut au centre) et de l'ouverture (*dur.ouv*, en bas au centre), et vitesse d'augmentation des contacts EPG lors de la fermeture (*vct.fer*, en haut à droite) et de l'ouverture (*vct.ouv*, en bas à droite) de C1 selon les catégories prosodiques larges, tous groupes et locuteurs confondus

Il pourrait donc apparaître que dans une syllabe finale accentuée ou porteuse d'intonation, surtout conclusive, la consonne est globalement réalisée par un allongement spécifique de sa phase de fermeture du fait d'une réduction de la vitesse du geste de constriction linguopalatale, sans changement notable de l'amplitude du geste.

Ce schéma articulatoire spatio-temporel est compatible avec les résultats des travaux de Beckman et ses collègues relatif à l'allongement articulatoire des syllabes VC finales de constituant intonatif majeur (Edwards & Beckman 1988, Edwards et al. 1991, Beckman & Edwards 1992, Beckman et al. 1992).

Ces auteurs montrent que l'allongement final est articulatoirement réalisé par une réduction locale de la vélocité du geste de fermeture mandibulaire VC, sans qu'il ne soit véritablement plus ample. Ce patron dynamique articulatoire repose sur une réduction de la tension articulatoire du geste provoquant une élongation temporelle.

Ce mécanisme semble correspondre assez bien à ce que nous observons ici s'agissant des gestes de constriction linguopalatale des consonnes finales de groupe intonatif. Reste que ce phénomène ne varie pas graduellement selon les différents niveaux de la hiérarchie prosodique, et repose essentiellement sur une tendance très générale.

### 1.2.2. La consonne initiale C2

Comme pour la consonne codaique, très peu de mesures ont été retenues par la procédure. Seules trois mesures articulatoires temporelles relatives à la consonne /k/ dans le groupe /tk/ ressortent (tableau III.2.4).

Dans notre étude, cette position syntagmatique dans la séquence ne paraît donc pas être, non plus, un site privilégié de co-variations articulatoires très homogènes pour l'expression inter-individuelle de la hiérarchie prosodique.

Pour les mesures inter-individuelles retenues, la consonne /k/ d'attaque de syllabe post-tonique montre un effet selon 2 à 3 niveaux hiérarchiques prosodiques sur la durée et la proportion des phases articulatoires de fermeture et de constriction linguopalatale maximale.

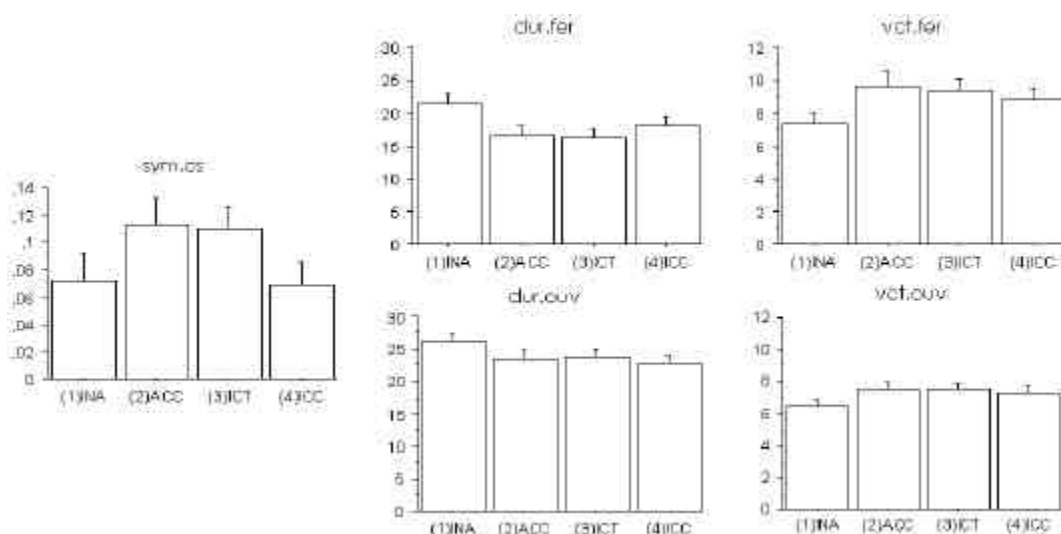
**Tableau III.2.4** – Tests post hoc et étendue moyenne pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues concernant la consonne d'attaque de la syllabe post-tonique (C2)

temporel	mesure	gpcs	tests post hoc	étendue	index
durée	dur.fer	tk	ICT-(ICC) < ACC < INA	12,7	106-121
proportion	pct.fer	tk	ICT-ICC < ACC-INA	10,9	107-122
	pct.max	tk	INA-(ACC) < (ICC)-ICT	17,5	108-124

Inversement à la consonne codaïque de la syllabe tonique, la fermeture est plus courte plus la frontière prosodique précédente est hiérarchiquement importante.

### 1.2.2.a. Une asymétrie temporelle inverse à C1

Nous avons donc regardé si ce phénomène était plus général, en confondant les différents groupes de consonnes et les locuteurs (figure III.2.11). Les résultats généraux montrent un profil inversé à celui de la consonne finale pré-frontalière.



**Figure III.2.11** – Symétrie temporelle entre les phases de fermeture et d'ouverture (*sym.cs*, à gauche), durée de la fermeture (*dur.fer*, en haut au centre) et de l'ouverture (*dur.ouv*, en bas au centre), et, vitesse d'augmentation des contacts EPG lors de la fermeture (*vct.fer*, en haut à droite) et de l'ouverture (*vct.ouv*, en bas à droite) de C2 selon les catégories prosodiques larges, tous groupes et locuteurs confondus

Contrairement à la consonne finale C1 (figure III.2.10), la consonne initiale C2 montre une asymétrie temporelle positive, c'est-à-dire une fermeture plus courte que l'ouverture. Cette asymétrie augmente pour les contextes accentuel et intonatif de continuation (figure III.2.11, à gauche).

L'augmentation de cette asymétrie positive est principalement le fait d'un raccourcissement plus marqué de la fermeture de la consonne après une syllabe accentuée ou en début de groupe intonatif (figure III.2.11, en haut au centre). La diminution temporelle de cette phase semble reposer sur une accélération de l'établissement du contact linguopalatal dans les contextes post-accentuels par rapport au contexte inaccentué (figure III.2.11, en haut à droite).

Ainsi, en frontière prosodique importante, alors que la fermeture de la consonne finale tendrait à s'allonger, celle de la consonne initiale tendrait au contraire à se raccourcir. Dans les deux cas, cette modification de leur durée semble pouvoir être due à un changement de la vitesse de relâchement ou d'établissement de la constriction linguopalatale maximale.

Ces patrons temporels opposés, selon l'asymétrie temporelle de la consonne C1 et C2, sont intéressants parce qu'ils permettraient de particulariser les enchaînements C#C en frontière de constituants prosodiques sur une caractéristique dynamique des gestes articulatoires, à savoir une modification de la « vitesse » et de la « tension » de leur fermeture.

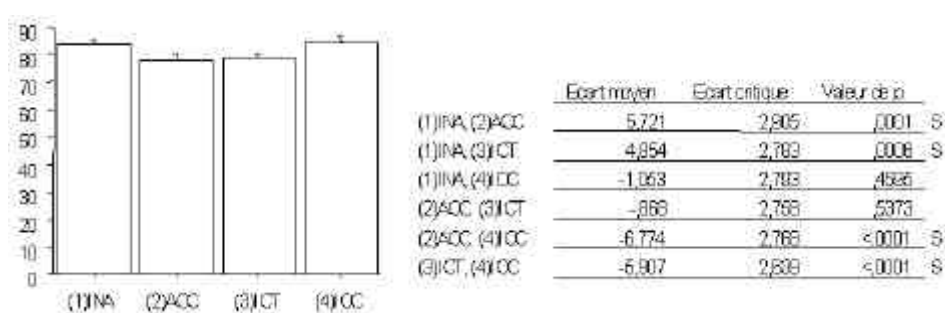
Sans que leur amplitude ne soit réellement modifiée, les gestes articulatoires seraient allongés en finale

de constituants supérieurs par une décélération locale du tempo, et en initiale abrégés par une réaccélération, marquant une reprise du tempo.

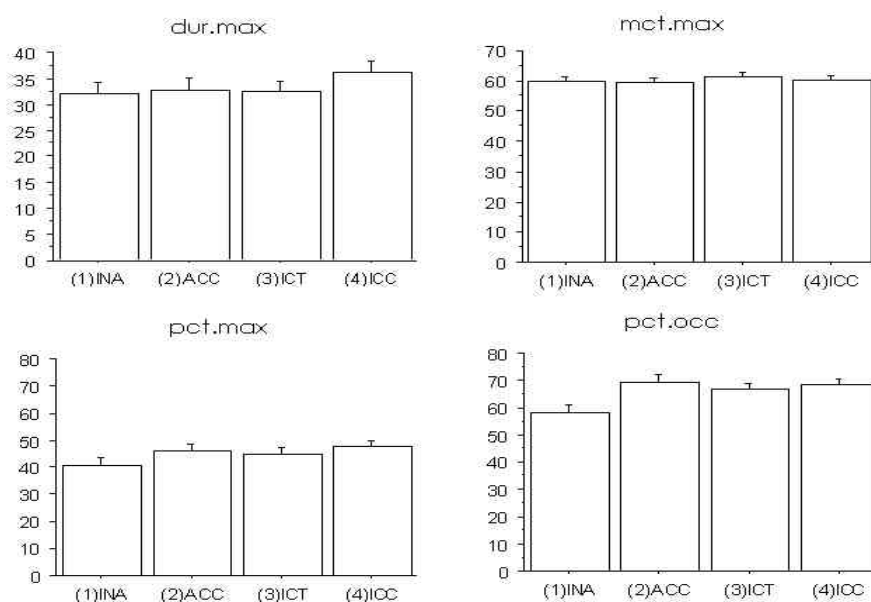
Malgré tout, ces mécanismes semblent peu robustes aux variations individuelles et les différences observées restent assez faibles. De plus, la tendance très générale sur laquelle ils reposent ne rend pas compte d'un effet graduellement croissant selon la hiérarchie prosodique, mais tout au plus d'une distinction binaire entre contextes accentués et inaccentués.

### 1.2.2.b. Durée et amplitude

De manière générale, tous groupes de consonnes confondus ou séparés, rien de vraiment cohérent en fonction de la hiérarchie prosodique n'apparaît concernant la durée globale de la consonne post-tonique C2 (figure III.2.12), du fait notamment d'un rehaussement de sa durée pour la catégorie intonative conclusive qui ne permet pas de la distinguer de la catégorie inaccentuée. ACC et ICT montrent des durées plus réduites que INA d'environ 5 ms, ce qui reste très faible, puisque cet écart correspond à la durée entre deux trames EPG.



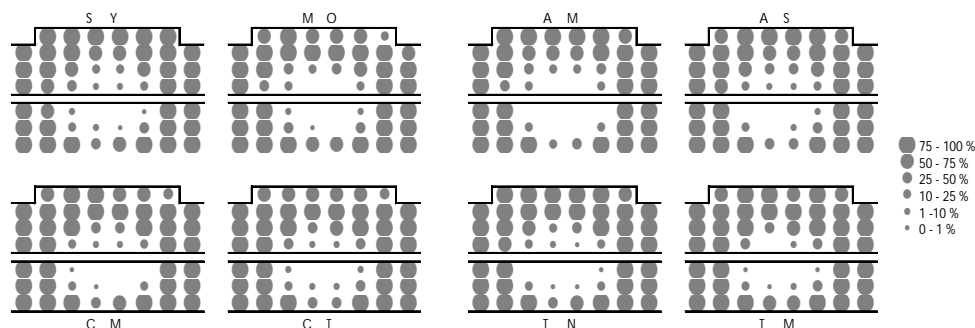
**Figure III.2.12** – Durée de la consonne C2 selon la hiérarchie prosodique, tous groupes et locuteurs confondus, et résultats des comparaisons par paire des tests post hoc entre chacune des catégories prosodiques larges (à gauche)



**Figure III.2.13** – Durée EPG de la constriction maximale (*dur.max*, en haut à gauche), taux moyen de contacts EPG de la constriction maximale (*mct.max*, en haut à droite), proportion de cette phase (*pct.max*, en bas à gauche) et de l'occlusion (*pct.occ*, en bas à droite) dans C2 selon les catégories prosodiques larges, tous groupes et locuteurs confondus

Il apparaît également que l'amplitude (*mct.max*, figure III.2.13 et III.2.14), la durée et la proportion de la constriction maximale (figure III.2.12) n'augmentent pas particulièrement plus la frontière prosodique est importante.

Seule une proportion plus importante de l'occlusion de la consonne paraît distinguer une consonne initiale de syllabe post-tonique d'une consonne suivant une syllabe inaccentuée (figure III.2.12). La proportion de cette phase dans la consonne augmente relativement nettement puisqu'une différence de l'ordre de 10 % distinguent les contextes accentués et intonatifs du contexte inaccentué.



**Figure III.2.14** – Pourcentage cumulé des contacts EPG, dans la zone antérieure (haut du palais) pour /t, l/ et postérieure (bas du palais) pour /k/, lors de la constriction maximale de la consonne C2 selon les catégories prosodiques étroites, tous groupes et locuteurs confondus

Concernant l'allongement et l'asymétrie de la consonne initiale, nos résultats diffèrent de ceux de Byrd et al. (2000), portant sur les enchaînements /m#n/ et /n#m/ en frontière prosodique de différents niveaux.

Nous observons, en effet, que la durée et, plus spécifiquement, celle de la fermeture de la consonne initiale tendent plutôt à diminuer en contexte post-accentuel. La fermeture de la consonne se raccourcit de manière plus importante que sa phase d'ouverture, engendrant un pattern articuloire plus asymétrique de la consonne quand une frontière accentuelle ou intonative la précède.

A l'inverse, Byrd et al. observent que l'articulation de la consonne /n/ et particulièrement son geste de fermeture sont allongés en initial de constituant intonatif majeur. Cet allongement est réalisé par une réduction locale de la tension articuloire du geste, induisant une diminution de sa vélocité pour un déplacement à peine plus important.

Pour Byrd et al., les frontières intonatives les plus élevées de l'énoncé conditionneraient au niveau articuloire un ralentissement local pré-frontalier, mais également post-frontalier. Cet allongement des gestes des deux cotés d'une frontière intonative majeure permettrait une réduction de la coproduction inter-gestuelle.

La nature des enchaînements segmentaux est peut-être à l'origine des différences observées avec notre étude.

Byrd et al. analysent des séquences composées d'une consonne labiale suivie ou précédée d'une apicale. Les deux articulateurs observés, la lèvre supérieure et la lame de la langue, sont totalement indépendants. Dans notre cas, nous observons des séquences composées de deux consonnes linguales, l'une dorsale et l'autre apicale dont l'indépendance est assez relative.

D'un côté, la possibilité de coproduction entre gestes consonantiques de l'apex et du dos de la langue est bien connue, notamment au regard des groupes de consonnes (Hardcastle & Roach 1977, Marchal 1988b ou Byrd 1996), ce qui montre que ces deux parties de la langue fonctionnent de manière relativement indépendante. D'un autre côté, ces deux articulateurs sont physiologiquement attachés et leur degré d'autonomie est nécessairement plus limité (Recasens et al. 1993). La postériorisation plus importante du dos de la langue pour /k/ produit dans le groupe /kl/ par rapport à une production en contexte inter-vocalique (Gibbon et al. 1993, Hardcastle et al. 1996) en est une conséquence.

Ainsi, les interférences articuloires intrinsèques sont certainement plus importantes dans les enchaînements entre geste dorsal et apical de la langue qu'entre deux articulateurs complètement autonomes comme la lèvre supérieure et l'apex de la langue. On peut donc légitimement penser que des contraintes articuloires différentes spécifiques au type d'enchaînement inter-consonantique peuvent engendrer des patrons articuloires dynamiques différents.

Concernant le renforcement de la constriction linguopalatale de la consonne post-frontalière, nos résultats ne sont pas non plus en accord avec un certain nombre d'études reposant sur une investigation articulatoire comparable (Fougeron & Keating 1997, Hsu & Jun 1997, Fougeron 1998, Cho 1998).

Ces travaux montrent que la consonne linguopalatale initiale est graduellement renforcée par une constriction plus étroite, plus le niveau de la frontière précédente est élevé dans la hiérarchie prosodique. Ainsi, ce renforcement articulatoire, selon les études et la consonne observée, permet de distinguer de 2 à 5 niveaux de frontière. La distinction suivante en trois niveaux croissants se démarque généralement : frontière de syllabe ou de mot < frontière de groupe accentuel < frontière de groupe intonatif.

Pour notre part, nous ne dégagons aucun effet cohérent de la hiérarchie sur l'amplitude de la constriction de la consonne initiale post-frontalière.

Un certain nombre d'explications sont envisageables. Celles-ci concernent principalement la différence du contexte segmental (C#C dans notre étude et V#C dans les autres), celle des systèmes EPG (Reading ici et Kay pour les autres études) et celle relative à la procédure de prise de mesure EPG (concernant la détermination des zones EPG pour le calcul du taux de contact linguopalatal).

Nous ne développons pas ces arguments ici, du fait qu'ils font l'objet d'une discussion détaillée dans la partie consacrée à l'interprétation générale de nos résultats (cf. §IV.2:2.2).

## 2

### ***Corrélat coarticulatoires entre segments contigus***

Cette partie concerne les phénomènes coarticulatoires inter-segmentaux qui dans la séquence 'VC#CV montrent inter-individuellement une co-variation systématique avec la hiérarchie prosodique large.

Nous nous intéressons d'abord aux résultats relatifs à la rime de la syllabe pré-frontalière 'V1C1#, puis à la syllabe initiale post-frontalière #C2V2, et enfin à l'enchaînement entre la consonne codaïque de la syllabe finale et la consonne d'attaque de la syllabe post-tonique, situées de part et d'autre de la frontière, C1#C2.

#### **2.1. La coarticulation dans la rime V1C1#**

La procédure de sélection des variations coarticulatoires relatives à la séquence V1C1# a permis de dégager un certain nombre de phénomènes inter-individuels répondant assez étroitement à la hiérarchie prosodique large. Ils sont présentés dans le tableau III.2.5.

##### **2.1.1. L'allongement de la rime**

La durée de la rime VC de la syllabe accentuée est allongée de manière graduelle en fonction de l'importance de la frontière prosodique subséquente. Ainsi, selon le groupe, de 2 niveaux d'allongement, pour le groupe /tk/, à 3 ou 4, pour les autres, sont distingués, respectant la hiérarchie prosodique attendue : syllabe inaccentuée = syllabe accentuée < syllabe portant une intonation continuative = syllabe portant une intonation conclusive.

Cet allongement de la rime de la syllabe finale devrait reposer principalement sur celui du noyau vocalique, l'analyse de la durée de C1 n'ayant dégagé un effet statistique de la hiérarchie seulement pour /t/ de /tk/ (tableau III.2.3). Selon une tendance globale, la durée des consonnes codaïques n'est significativement plus longue qu'en syllabe finale de constituant intonatif conclusif (figure III.2.9, à gauche).

**Tableau III.2.5** – Tests post hoc et étendue moyenne pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues concernant la coarticulation VC syllabe finale accentuée dans V1C1#

type de mesure	mesure	gpcs	HPL : tests post hoc	étendue	index	
durée	dur.sq	kl	INA-ACC < ICT < ICC	37,2	44-46	
		kt	INA < ACC < ICT < ICC	42,2	63-62	
		lk	INA < ACC < ICT < ICC	51,0	74-75	
		tk	INA-ACC < ICT-ICC	42,6	82-84	
	Dvoy.max	lk	INA < ACC-ICT < ICC	14,9	75-76	
	Dmin.cs	kl	INA < ACC < ICC-ICT	9,7	45-47	
	Dmin.occ	kl	INA < ACC < ICC-ICT	13,6	49-50	
proportion	min.csSQ	lk	ICC-ICT < ACC-INA	5,6	76-77	
	min.occSQ	lk	ICC-ICT < ACC-INA	5,6	79-80	
	min.maxSQ	kt	ICT-(ICC) < (ACC)-INA	8,7	65-65	
latence relative	Pocc.voy	tk	ICT-ICC-ACC < INA	3,1	83-86	
		Pcs.min	kl	ICC < (ICT)-INA-ACC	44,3	46-48
			kt	ICC-ICT-ACC < INA	68,7	64-64
	Pocc.min	lk	ICT-ICC < INA-ACC	37,6	77-78	
		kl	ICC < (ICT)-INA-ACC	44,3	50-51	
	Pmax.min	kt	ICC-ICT-ACC < INA	68,7	67-67	
		kl	ICC-ICT < ACC-INA	52,6	48-49	
			kt	ICT-ICC < ACC < INA	69,5	66-66
spatio-temporel	DctCV	kl	INA-ACC < ICT-ICC	6,4	51-52	

L'examen des régressions linéaires entre durée de la séquence, durée vocalique et durée consonantique (figure III.2.15) confirme que l'allongement de la séquence repose principalement sur celui du noyau vocalique ( $r^2 = 0,623$  ;  $p < 0,0001$ ), mais en partie également sur celui de la consonne codaïque ( $r^2 = 0,486$  ;  $p < 0,0001$ ). La prédominance de l'allongement vocalique dans la séquence est proportionnellement croissante avec l'importance de la frontière prosodique. Elle représente environ 50 % de la séquence dans une syllabe inaccentuée, 55 % en syllabe accentuée ou avant une frontière conclusive, et 60 % avant une continuative (figure III.2.15, en bas à droite).

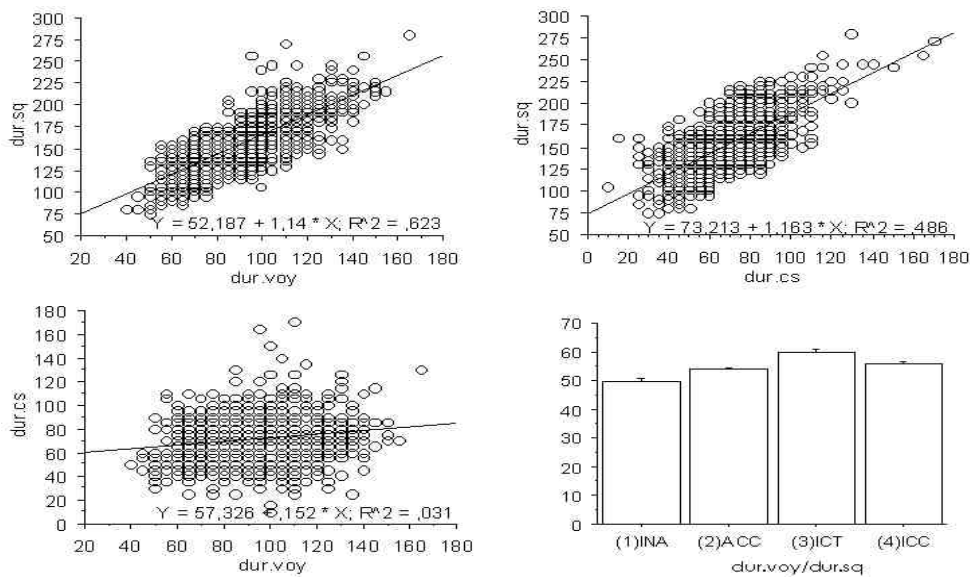
Cette différence de participation entre la voyelle et la consonne dans l'allongement de la rime est encore plus marquée, si l'on analyse séparément les deux types de consonnes, antérieures et postérieure (tableau III.2.6, à gauche). La consonne postérieure participe moins à l'allongement général de la rime que les consonnes antérieures.

Cette différence repose en fait essentiellement sur la consonne latérale /l/. Cette consonne nettement plus courte que les autres montre un allongement différentiel croissant selon les contextes prosodiques bien plus marqué que toutes les autres consonnes : sa durée augmente de 36 % en moyenne, alors que celle des autres consonnes ne s'accroît que de 12 à 15 % entre une position inaccentuée et une position finale de constituant intonatif conclusif (tableau III.2.6, à droite).

Ces résultats rejoignent ceux d'Astésano (1999) et de Campbell (1992) qui montrent que l'allongement acoustique des syllabes finales de constituant intonatif repose quasi essentiellement sur celui de la rime et plus particulièrement du noyau vocalique, contrairement à l'allongement provoqué par un accent emphatique ou initial.

Par contre, ils ne corroborent pas le fait que les segments soient graduellement plus allongés, plus ils sont proches de la frontière finale, comme Berkovits (1993) le montre en israélien, où la consonne codaïque est plus allongée que la voyelle.





**Figure III.2.15** – Régressions linéaires entre la durée de la séquence V1C1 (*dur.sq*) et la durée de la voyelle (*dur.voy*, en haut à gauche), et la durée de la consonne (*dur.cs*, en haut à droite), entre durée vocalique et consonantique (en bas à gauche), et proportion (%) de la voyelle dans la séquence V1C1# selon les catégories larges (en bas à droite), tous groupes et locuteurs confondus

Un autre point est intéressant. Il ressort que durée vocalique et durée codaïque ne sont pas corrélées entre elles (figure III.2.15, en bas à gauche). Cette autonomie est vraie pour les deux types de consonnes (tableau III.2.6, à gauche). Ce fait indique que ces éléments constitutifs de la rime, noyau et coda, sont indépendants au regard du phénomène d’allongement final, et que ce n’est pas globalement que la rime qui est allongée, mais chacun de ces sous-constituants indépendamment.

**Tableau III.2.6** – Coefficients de corrélation ( $r^2$ , positif) entre la durée de la voyelle, de la consonne et de la séquence V1C1 selon le type de consonne (à gauche), et durée moyenne et allongement différentiel (en ms et %) des différentes consonnes en syllabe inaccentuée et finale de constituant intonatif conclusif (à droite), tous locuteurs confondus

$r^2$	k	l/t	INA	ICC	allongement différentiel	allongement différentiel relatif
dur.voy*dur.cs	0,033	0,09	k 74,6	83,8	9,3 ms	12,5 %
dur.voy*dur.sq	0,708	0,768	l 49,5	67,4	17,9 ms	36,2 %
dur.cs*dur.sq	0,355	0,508	t 68,7	78,9	10,2 ms	14,8 %

Cette autonomie temporelle des gestes vocalique et consonantique à l’intérieur de la rime permet d’envisager la possibilité d’une modification de leur timing, pouvant participer à un marquage différentiel des contextes prosodiques selon l’importance de leur position dans la hiérarchie prosodique.

Un certain nombre de mesures temporelles relatives à l’intervalle temporelle V1C1 montrent, en effet, un comportement inter-individuel homogène en fonction de la hiérarchie prosodique.

### 2.1.2. L’intervalle inter-gestuel

Concernant l’enchaînement articuloire entre la voyelle et la consonne codaïque, les résultats (tableau III.2.5) montrent que, pour tous les groupes, l’intervalle temporel entre V1 et C1 est affecté inter-individuellement de manière plus ou moins graduelle selon la hiérarchie prosodique, soit en termes de durée brute (ms), de sa proportion dans la séquence (%), ou de la latence relative entre la fin de la voyelle V1 et le début de la consonne C1. Neuf mesures concernent une consonne codaïque postérieure et six une consonne antérieure.

Selon les groupes et le type de mesures, les points vocaliques (fin acoustique ou de l'ouverture maximale) et consonantiques (début EPG du geste, de la constriction maximale ou de l'occlusion) à partir desquels cet intervalle est calculé, ne sont pas les mêmes. Néanmoins, les variations observées vont toutes dans le même sens en fonction de la hiérarchie prosodique proposée. Qu'il s'agisse d'un allongement ou d'une réduction de cet intervalle, selon le type de mesures de timing (durée, proportion ou latence), la tendance exprimée selon la hiérarchie prosodique croissante est constante et homogène entre les différents groupes et les points de mesures.

La durée de l'intervalle VC est la mesure qui permet de distinguer le plus de niveaux prosodiques. L'allongement catégoriel pour les groupes /lk/ et /kl/ s'effectue selon trois niveaux croissants : inaccentué < accentué = intonatif continuatif = intonatif conclusif, alors que les deux autres types de mesures inter-gestuelles ne permettent de distinguer que deux niveaux prosodiques.

La proportion de l'intervalle VC dans la séquence permet de différencier relativement systématiquement les catégories intonatives des deux autres catégories prosodiques : ICC-(ICT) < (ACC)-INA.

La latence relative entre V1 et C1 opère des distinctions variables selon la mesure et le groupe de consonnes. Reste que l'intonation conclusive se distingue toujours de la catégorie inaccentuée, alors que les niveaux prosodiques intermédiaires, intonation continuative et accentuation, montrent une grande variation dans leur distinction entre elles et avec les deux niveaux liminaires.

S'agissant de la proportion de l'intervalle VC et de la latence des gestes vocaliques et consonantiques en syllabe finale, il est donc difficile de parler véritablement de hiérarchie prosodique, puisque dans quasiment tous les cas seule une différenciation significative binaire est opérée, généralement entre les catégories intonatives et non intonatives.

Le timing, qui apparaît ici, entre la fin de la voyelle et le début de la consonne codaïque en syllabe finale, est différent de celui observé par Edwards & Beckman (1991), Beckman et al. (1992) et par Byrd & Saltzman (1998) pour l'articulation VC labio-mandibulaire.

Leurs études montrent que non seulement le geste de fermeture de V à C est allongé en frontière intonative majeure, mais aussi que si les relations de timing entre V et C sont modifiées (par exemple par un débit lent chez Beckman), elles le sont par un retardement du geste consonantique par rapport au geste vocalique.

Nous observons, pour notre part, une tendance inverse à ce que le début de la constriction linguopalatale consonantique soit réalisé plus tôt par rapport à la fin de l'abaissement de la langue ou des résonances formantiques de la voyelle précédente en finale de groupe intonatif majeur.

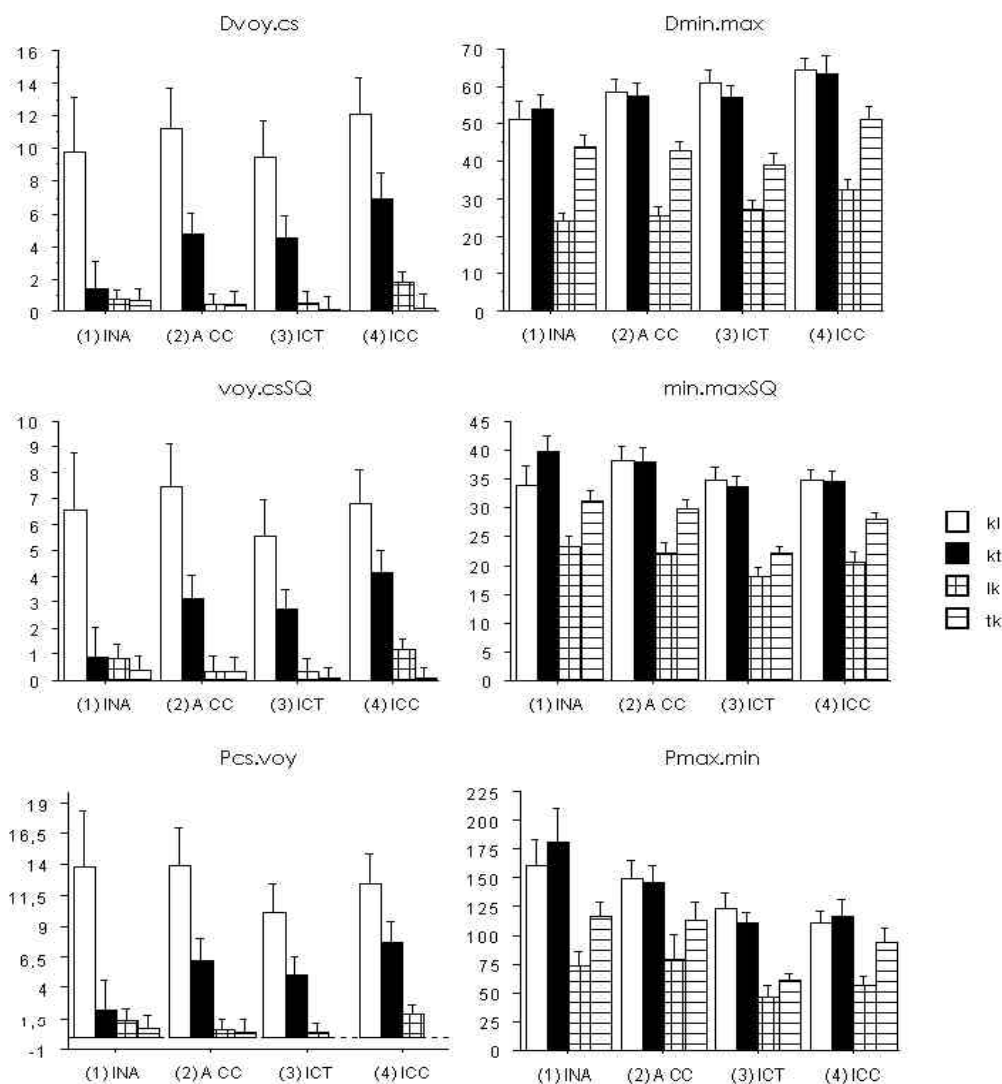
D'une manière générale, alors que l'intervalle VC augmente en durée avec la hiérarchie des catégories prosodiques, il diminue en proportion dans la séquence et en terme de latence du début de C1 par rapport à la fin (ou la durée) de V1 (tableau III.2.5, figure III.2.16)<sup>47</sup>.

Cette différence, avec les résultats des études citées, ne semble pas reposer sur la nature des articulateurs impliqués. Chez Beckman et chez Byrd, voyelle et consonne sont observées pour une articulation VC homo-organique, respectivement de la mandibule et du complexe lèvre inférieure-lèvre supérieure.

Chez nous, le timing de l'enchaînement VC homo-organique /ak/ varie dans le même sens que celui des enchaînements articulatoires hétéro-organiques /at/ et /al/, bien que des différences importantes existent entre ces deux types d'enchaînement au niveau de l'intervalle temporel entre geste vocalique et geste consonantique. En effet, quelque soit le contexte prosodique, l'intervalle VC composé d'une consonne postérieure est toujours plus long que composé d'une antérieure (figure III.2.16). Cela indique que le délai plus important entre les gestes contigus V et C permet probablement d'éviter la troncation de la voyelle par le début du geste consonantique homo-organique suivant. Cette interprétation est également soutenue par le fait que l'allongement différentiel de V1 (*étendue*, tableau

<sup>47</sup> Sauf le cas de /kt/, pour lequel la proportion et le délai relatif entre le début EPG C1 et la fin acoustique de V1 tendent à augmenter (*voy.csSQ* et *Pcs.voy*).

III.2.1) entre syllabe inaccentuée et syllabe finale de groupe intonatif est plus court pour la séquence /ak/ (31ms) que pour /at/ ou /al/ (40 à 45 ms). Ce point illustre la possibilité d'un allongement plus contraint du geste vocalique suivi d'un geste consonantique homo-organique (/k/).



**Figure III.2.16** – Durée (en haut), proportion dans VC (au centre) et latence relative (en bas) de l'intervalle VC mesurées entre le début EPG de C1 et la fin acoustique de V1 (à gauche), et entre le début de la constriction linguopalatale maximale de C1 et la fin de l'ouverture linguopalatale maximale de V1 (à droite) pour chaque type de groupe selon la hiérarchie prosodique, tous locuteurs confondus

Ces différences avec les études de Beckman et de Byrd pourraient peut-être également provenir de la largeur de la fenêtre d'observation des gestes articulatoires. Dans notre étude, nous ne pouvons rendre compte que de la partie des gestes concernée par les appuis de la langue avec le palais dur. Nous ne pouvons donc analyser la dynamique articulatoire qu'à travers une lucarne tronquant temporellement et spatialement les gestes. Nous ignorons donc tout du point spatio-temporel de départ des gestes linguaux de fermeture et d'arrivée des gestes d'ouverture.

Néanmoins, nous interprétons ce timing articulatoire plus étroit entre les gestes linguopalataux vocalique et consonantique comme un renforcement de la cohésion articulatoire de la rime de la syllabe finale en frontière intonative.

L'allongement de la séquence VC augmente avec la hiérarchie prosodique et repose sur celui de la voyelle et de la consonne indépendamment. La durée de cet intervalle augmente elle aussi avec la hiérarchie prosodique, mais ne semble pas être induite directement par l'allongement général de la

séquence, puisque nous n'observons pas de corrélation entre une mesure de cet intervalle et la durée de la séquence. Le coefficient  $r^2$  maximal relevé pour ces corrélations ne dépasse pas 0,118 ( $P_{max.min}$ ).

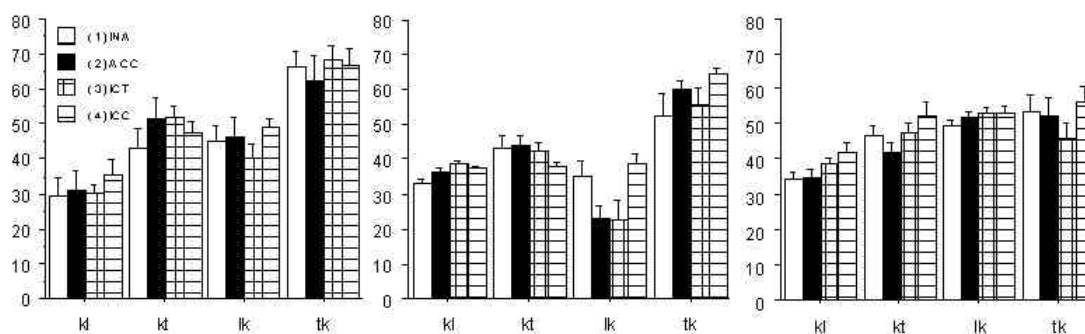
Il apparaît donc qu'en frontière intonative l'allongement de la rime et des segments qui la composent est plus important que celui de l'intervalle inter-gestuel. Cet allongement moins important de l'intervalle VC provoque, par sa réduction relative, un timing plus resserré entre les deux éléments constitutifs de la rime.

Ainsi, plus la rime est longue sous l'effet de l'allongement final de constituants intonatifs majeurs, plus la cohésion temporelle inter-gestuelle est grande au sein de la rime, le début du geste de constriction consonantique étant réalisé plus tôt par rapport à la fin du geste vocalique.

### 2.1.3. Le contraste VC

La dernière mesure articulatoire dégagée par la procédure concerne le contraste d'ouverture entre V1 et C1 au sein de la rime.

Le contraste d'ouverture linguopalatale est calculé par la différence de taux de contacts EPG entre la constriction maximale de la consonne et l'ouverture maximale de la voyelle, afin d'examiner la possibilité d'un contraste de sonorité renforcé en syllabe accentuée ou finale de groupe intonatif, selon la proposition d'une *Sonority Expansion* de Edwards & Beckman (1988), Beckman & Edwards (1992), Beckman et al. (1992).



**Figure III.2.17** – Différences de taux de contacts EPG (DctCV) entre V1 et C1 selon le groupe de consonne et la hiérarchie prosodique pour chaque locuteur. De gauche à droite : locC, locM et locY

Les résultats montrent qu'au moins dans un cas (/ak(l)/), ce phénomène participe inter-individuellement au marquage distinctivement renforcé des syllabes finales de constituants intonatifs. Dans les positions les plus fortes de la structure prosodique, la syllabe semble pouvoir être marquée articulatoirement par une augmentation de l'ouverture du conduit vocal, renforçant le contraste sonore entre la voyelle et la consonne codaique au sein de la rime.

Il est probable que l'effet constaté ici tienne principalement à une ouverture linguopalatale de la voyelle et non à un renforcement de la constriction de la consonne. En effet, l'analyse du taux de contacts EPG a montré que la hiérarchie prosodique permet de rendre compte d'une ouverture graduellement plus importante de V1, et non d'une fermeture plus extrême de la consonne codaique.

Ce processus n'est cependant pas très régulier au regard ni des locuteurs, ni de la nature des consonnes codaiques ou des groupes de consonnes (figure III.2.17). Seul locY paraît pouvoir répondre globalement à ce type de renforcement au sein de la rime.

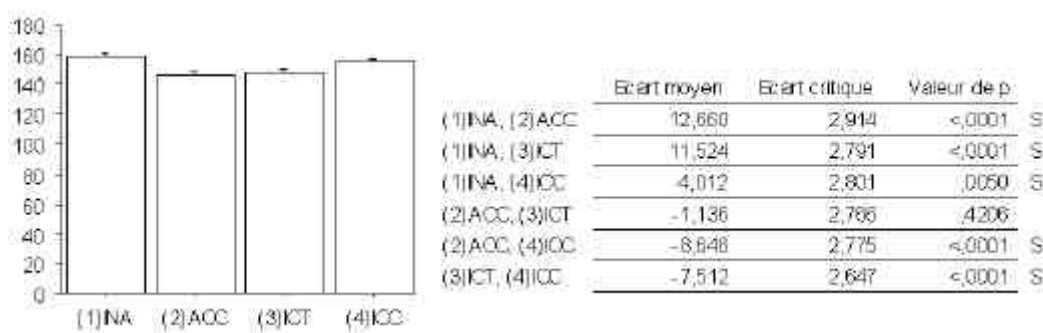
## 2.2. La coarticulation en attaque #C2V2

De la procédure de sélection des mesures, aucune d'elles ne ressort s'agissant des modifications linguopalatales temporelles ou spatio-temporelles dans la syllabe initiale CV post-frontalière, pouvant répondre inter-individuellement de façon stable et homogène à l'influence croissante de la hiérarchie prosodique pour chacun des contextes consonantiques observés.

Cela indiquerait que la syllabe initiale post-frontière n'est pas un lieu inter-individuellement privilégié s'agissant d'un marquage articulatoire linguopalatale régulier de la hiérarchie prosodique. Il y a peut-être des co-variations articulatoires réalisées en ce lieu, mais soit elles ne sont pas identiques entre les locuteurs, soit elles ne relèvent pas de modifications importantes et régulières du timing inter-gestuel ou du pattern articulatoire dynamique, soit elles portent sur une autre modalité articulatoire.

Même, au regard des tendances très générales, tous locuteurs et groupes de consonnes confondus, rien ne semble répondre même minimalement à un effet de la hiérarchie prosodique. Aucune mesure de timing entre C2 et V2, que ce soit en durée et en proportion de l'intervalle inter-gestuel ou en terme de latence des gestes ne ressort, même au regard d'une distinction entre contexte inaccentué et accentué ou intonatif. De même aucune mesure spatio-temporelle, relative à la coarticulation CV n'apparaît.

Seule la durée de la séquence montre une tendance à une diminution en contexte post-accentuel (ACC-ICT) par rapport à une position syntagmatique après une syllabe inaccentuée (INA). La séquence semble réduire temporellement lorsqu'elle est précédée d'une syllabe accentuée ou d'une frontière intonative continuative (figure III.2.18), suivant en cela la même tendance que V2 (cf. §III.2:1.1.2). De plus, comme on l'a vu, bien que la durée de la consonne n'apparaisse pas répondre correctement à la hiérarchie prosodique du fait également d'une non distinction entre une position suivant une intonation conclusive et une syllabe inaccentuée (figure III.2.12), elle suit cependant globalement la même direction générale que la séquence et la voyelle.



**Figure III.2.18** – Durée de la séquence #C2V2 en fonction de la hiérarchie prosodique, tous groupes et locuteurs confondus, et résultats des comparaisons par paires des tests post hoc entre chacune des catégories prosodiques larges (à gauche)

Nous attendons donc à ce que, comme pour la rime de la syllabe finale (cf. §III.2:2.1.1), la modification temporelle de la syllabe initiale en fonction de la hiérarchie prosodique repose principalement sur celle de la voyelle, puisque la consonne y répond d'une manière moins cohérente et qu'aucun changement, même tendanciel, dans la coordination entre gestes consonantique et vocalique ne rend compte d'un effet du contexte prosodique.

L'examen des régressions linéaires entre la durée de la séquence C2V2, celle de la voyelle V2 et celle de la consonne C2 ne confirme pas cette supposition. En effet, le tableau III.2.7 montre que la durée de la séquence est principalement déterminée par la durée de la consonne d'attaque et moins par celle de la voyelle.

Cette différence n'est pas attribuable à un effet des groupes de consonnes, puisque tous montrent le même comportement.

**Tableau III.2.7** – Coefficients de corrélation entre la durée de la séquence C2V2 (*dur.sq*) et la durée de la voyelle (*dur.voy*) ou la durée de la consonne (*dur.cs*), et entre durée vocalique et consonantique, pour chaque consonne et toutes consonnes confondues (S)

r <sup>2</sup> (positif)	(k)l	(k)t	(l)k	(t)k	S
<i>dur.sq</i> * <i>dur.voy</i>	0,330	0,254	0,298	0,480	0,133
<i>dur.sq</i> * <i>dur.cs</i>	0,674	0,511	0,442	0,598	0,618
<i>dur.cs</i> * <i>dur.voy</i>	0,011	0,015	0,001	0,051	0,009

Ainsi, il apparaît que la durée globalement plus courte de la syllabe post-tonique (après un accent ou une intonation) repose sur l'effet combiné de la réduction de la voyelle et de celle de la consonne, même si cette dernière exerce une influence plus grande, mais répond de manière moins cohérente à la hiérarchie prosodique.

Cependant, le point le plus intéressant ne concerne pas l'effet de la hiérarchie prosodique. De cette analyse des relations de durée entre attaque et noyau de syllabe initiale, il ressort que, comme pour la rime de syllabe finale, ces deux éléments sont indépendants au regard des variations de durée. Néanmoins, inversement à la rime de syllabe finale, la durée de la syllabe initiale repose principalement sur celle de sa consonne d'attaque et nettement moins sur celle de son noyau vocalique.

Ce comportement différent entre syllabe finale et syllabe initiale pourrait expliquer un allongement différentiel opéré par l'accent initial de mot au regard de celui provoqué par un accent final. En effet, Astésano (1999) pour le français, rejoignant les résultats de Campbell (1992) et de Fant et al. (1991), montre que l'accent initial rythmique ou emphatique s'accompagne d'un allongement spécifique de l'attaque syllabique, alors qu'un accent final répond à celui de la rime, et plus particulièrement du noyau.

Même si nos résultats ne portent pas sur un effet de l'accent initial, mais sur une variation temporelle de la syllabe initiale, due en partie au contexte prosodique précédent, le fait que sa durée dépende plus de la consonne d'attaque que de la voyelle indique qu'elle pourrait être un site privilégié de l'allongement différentiel pour l'accentuation initiale.

Reste que, concernant notre étude, la syllabe post-frontalière montre quasi aucune variation articulatoire temporelle ou spatio-temporelle régulière et homogène entre les locuteurs, quel que soit le contexte consonantique observé.

Les différences de durée observées globalement, selon le contexte prosodique, sont très faibles, à peine guère plus de 5 ms pour la voyelle et la consonne, et de 10 ms pour la syllabe entre les contextes les mieux différenciés.

### 2.3. La coarticulation inter-consonantique C1#C2

Des modifications articulatoires relatives aux gestes linguopalataux consonantiques situés de part et d'autre de la frontière sont dégagées par la procédure de filtrage des mesures.

Ces changements affectent tant la durée de la séquence, le timing entre les gestes que leur coarticulation spatiale et spatio-temporelle selon deux à trois niveaux parallèles à la hiérarchie prosodique de la frontière inter-consonantique (tableau III.2.8).

Seuls les groupes de consonnes composés d'une consonne antérieure suivie de la consonne postérieure /k/ sont sensibles inter-individuellement et de façon assez régulière à l'influence d'un niveau prosodique croissant.

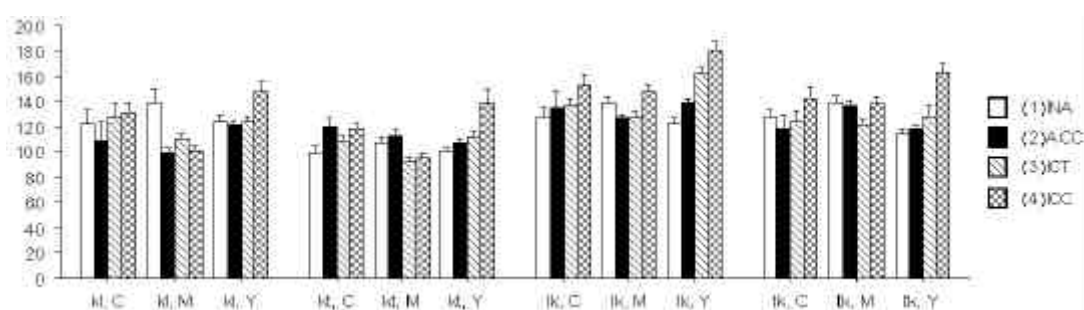
Seule une mesure est commune à ces deux groupes. Aucune mesure ne ressort pour les groupes composés /kl/ et /kt/.

**Tableau III.2.8** – Tests post hoc et étendue moyenne pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues concernant la coarticulation entre la consonne codaïque de la syllabe accentuée et la consonne d'attaque de la syllabe post-tonique (C1#C2)

type de mesure	mesure	gpcs	tests post hoc	étendue	index
durée	dur.CC	lk	INA-ACC < ICT < ICC	43,2	141-161
	DCC	tk	INA < ACC < ICT-ICC	16,4	145-171
proportion	pctCC2	lk	ICC < ICT-ACC < INA	10,8	142-162
		tk	ICC-ICT < ACC-INA	9,5	144-170
	pctDCC	tk	INA < ACC < ICT-ICC	13,6	146-172
	pctDC1	tk	INA-ACC < ICT-ICC	20,6	147-173
	pctDmaxC2	tk	INA-ACC < ICT-ICC	15,5	150-174
spatial	DAP	lk	INA-(ACC) < (ICT)-ICC	0,3	143-165
	ctC2.fmxC1	tk	ICC < ICT < ACC-INA	14,3	151-175
	ctC2.focC1	tk	ICT-ICC < ACC < INA	16,2	152-176
spatio-temporel	msk.C1	tk	ICC-ICT < ACC-INA	19,9	153-177

### 2.3.1. L'allongement du groupe

Tout d'abord, le groupe /lk/ montre un allongement de sa durée selon trois niveaux hiérarchiques prosodiques. Le groupe /tk / montre également pour deux locuteurs sur trois une durée plus longue en contexte de frontière intonative conclusive. Pour les deux autres groupes, rien de vraiment cohérent n'émerge inter-individuellement en fonction de la hiérarchie prosodique (figure III.2.19).



**Figure III.2.19** – Durée moyenne des groupes de consonnes C1#C2 pour chaque locuteur selon la hiérarchie prosodique

L'analyse de la corrélation, entre la durée du groupe et des deux consonnes qui le composent, révèle que la consonne codaïque participe plus à la durée générale du groupe que la consonne d'attaque (tableau III.2.9).

**Tableau III.2.9** – Coefficients de corrélation entre la durée du groupe C2V2 (*dur.sq*) et la durée de la consonne codaïque (*dur.c1*) ou celle de la consonne d'attaque (*dur.c2*)

$r^2$ (positif)	kl	kt	lk	tk
<i>dur.sq</i> * <i>dur.c1</i>	0,661	0,535	0,542	0,505
<i>dur.sq</i> * <i>dur.c2</i>	0,389	0,449	0,389	0,377

La consonne /l/ montre en position finale un allongement en fonction de la hiérarchie prosodique plus important que les autres consonnes (cf. §III.2:1.2.1.a). Ce fait expliquerait pourquoi seul l'allongement du groupe /lk/ répond de manière étroite à la hiérarchie prosodique.

La proportion graduellement décroissante de la seconde consonne, selon trois niveaux de la hiérarchie prosodique dans ce groupe, corrobore cette interprétation. Ce même comportement apparaît également pour le groupe /tk/ dont la seconde consonne voit sa proportion dans le groupe réduire quand une frontière intonative sépare les deux consonnes (*pctCC2*, tableau III.2.8). Cette réduction de la proportion de C2 dans le groupe tient au fait que la durée de la consonne finale /t/ augmente graduelle selon la hiérarchie (tableau III.2.3).

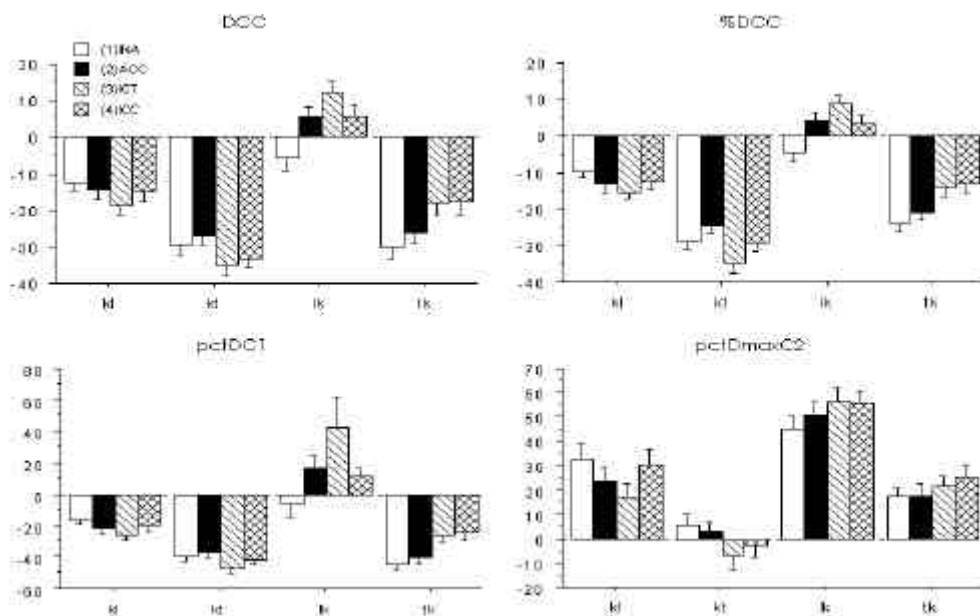
Ainsi, il apparaîtrait que l'allongement du groupe trans-frontalier selon l'importance de la frontière prosodique inter-consonantique repose principalement sur un allongement de la consonne codaique de la syllabe finale pré-frontalière.

### 2.3.2. La réduction de la coproduction

Quatre mesures temporelles attestent de la réduction de la coproduction entre la consonne pré-frontalière /t/ et la consonne post-frontalière /k/ de manière croissante selon deux à trois niveaux hiérarchiques de frontière prosodique.

Le tableau III.2.8 indique que la durée et la proportion dans le groupe /tk/ de l'intervalle inter-consonantique (entre la fin du geste linguopalatal de C1 et le début du geste de C2) augmentent graduellement et significativement d'une absence de frontière prosodique, à la présence d'une frontière accentuelle et à celle d'une frontière intonative. Il ressort donc, pour ce groupe, que la coproduction inter-gestuelle diminue inter-individuellement (pour deux locuteurs), de façon catégorielle selon trois niveaux, plus la démarcation prosodique est importante. Cette réduction de la coproduction dans ce groupe est confirmée par un chevauchement moins important de C1 par C2 (*pctDC1*) et de la phase de constriction linguopalatale maximale de C2 par C1 (*pctDmaxC2*).

Ainsi, la présence d'une frontière intonative provoque un retardement du geste de constriction de la consonne post-frontalière par rapport au début de la consonne pré-frontalière, et augmente l'écart temporel relatif entre les contractions maximales des deux consonnes.



**Figure III.2.20** – Durée (*DCC*), et proportion dans le groupe (*pctDCC*) et par rapport à la durée de C1 (*pctDC1*) de l'intervalle inter-consonantique trans-frontalier, et proportion de l'intervalle entre les tenues linguopalatales des consonnes par rapport à la durée de la tenue de C2 (*pctDmaxC2*) de chaque groupe selon la hiérarchie prosodique, tous locuteurs confondus

Nous avons examiné si ces phénomènes relatifs au timing inter-consonantique pouvaient correspondre au moins à une tendance plus globale (tous locuteurs confondus) pour les autres groupes de consonnes.



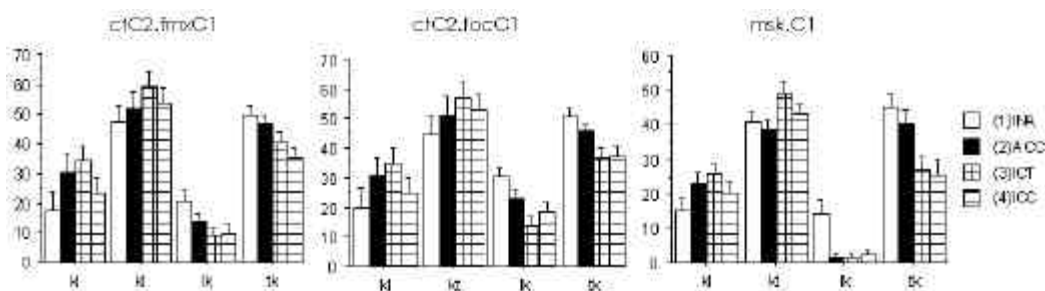
La figure III.2.20 montre que seul le groupe /lk/ tendrait à répondre, bien que beaucoup plus imparfaitement que /tk/, à une influence de la structure prosodique. Alors qu'en frontière syllabique interne de mot ou lexicale (INA), les gestes se chevauchent, la présence d'un accent en syllabe finale ou d'une frontière prosodique provoque une absence de chevauchement temporel absolu (*DCC*) et relatif (par rapport à la séquence, *pctDCC*, ou à la durée de la consonne finale, *pctDC1*), entre les gestes consonantiques pré- et post-frontalier. De même, le délai entre les tenue des deux consonnes augmente en moyenne selon une influence croissante de la hiérarchie prosodique (*pctDmaxC2*).

A l'inverse, selon ces mêmes mesures, les groupes /kl/ et /kt/ ne rendent compte d'aucune tendance à ce que la coproduction inter-consonantique soit réduite dans les contextes de frontière prosodique hiérarchiquement plus importante.

Deux mesures spatiales (*ctC2.fmxC1* et *ctC2.focC1*, tableau III.2.8) attestent également d'une réduction de la coproduction dans /tk/ de manière catégorielle et systématique pour les locuteurs, plus le niveau hiérarchique de la frontière inter-consonantique est élevé.

Le degré de contacts EPG de C2, en fonction du moment auquel se termine le geste d'occlusion et de constriction linguopalatale maximale de C1, diminue. Ces deux mesures permettent par leur combinaison de distinguer significativement les quatre niveaux de la hiérarchie prosodique dans l'ordre de leur importance, selon l'empan de recouvrement spatial de la consonne post-frontalière par la fermeture (occlusion ou constriction maximale) de la consonne pré-frontalière.

La mesure relative au masquage de l'articulation de /t/ par /k/ va dans le même sens (*msk.C1*, tableau III.2.8). Les gestes linguopalataux se recouvrent moins spatio-temporellement quand une frontière intonative les séparent, comparée à la présence d'une frontière inférieure (accentuelle, lexicale ou syllabique).



**Figure III.2.21** – Mesures de recouvrement spatial inter-consonantique : à gauche, le taux de contacts EPG de C2 au moment de la fin de l'occlusion de C1 (*ctC2.fmxC1*), au centre le taux de contacts EPG de C2 au moment de la fin de l'occlusion de C1 (*ctC2.focC1*) et à droite le taux de masquage linguopalatal spatio-temporel de C1 par C2 (*msk.C1*) pour chaque groupe de consonnes et selon la hiérarchie prosodique, tous locuteurs confondus

La figure III.2.21 montre que, comme pour les mesures inter-consonantiques précédentes, le groupe /lk/ tend à suivre le même comportement que le groupe /tk/.

Par contre, les groupes /kl/ et /kt/ ne montrent pas de tendance à une réduction de la coproduction entre les gestes pouvant répondre à la hiérarchie prosodique.

D'un point de vue strictement spatial, la mesure relative à la distance des lieux d'articulation entre les deux consonnes du groupe /lk/ (*DAP*, tableau III.2.8), mesurée au début de leur constriction maximale, ne va pas dans le sens d'une réduction de la coarticulation des segments. Au contraire, il apparaît que les lieux d'articulation se rapprochent significativement en frontière de constituant intonatif conclusif par rapport à un contexte intra- ou inter-lexical.

Ce comportement opposé à ce qu'on pouvait attendre repose essentiellement sur un élargissement de la constriction maximale de /l/ par une extension des contacts EPG vers l'arrière du palais (Fougeron 1998), comme on l'a vu lors de l'articulation de la consonne finale. Il ne s'agit pas ici véritablement d'un rapprochement des deux lieux d'articulation, mais d'une articulation renforcée de la latérale antérieure (cf. §III.2:1.2.1).

### 2.3.3. La sensibilité différente des groupes au contexte prosodique

Ces résultats sur la coarticulation linguopalatale C#C en fonction de l'importance de la frontière inter-consonantique montre un effet variable selon le type de groupe de consonnes observé. Seul véritablement le groupe /tk/ montre un effet régulier et graduel selon la hiérarchie prosodique.

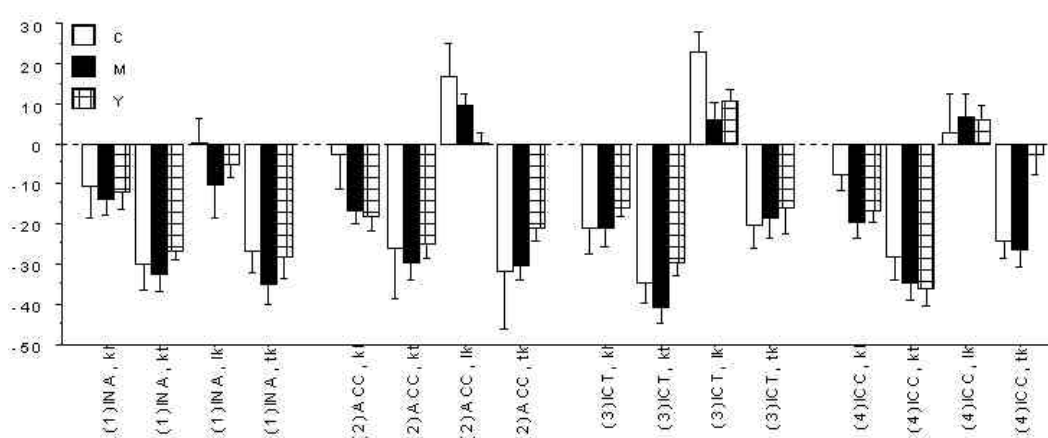
Dans une moindre mesure, le groupe /lk/ tendrait à suivre le comportement de /tk/. Par contre, aucun des groupes /kl/ et /kt/ n'est sensible à l'influence d'une frontière de manière homogène, régulière ou plus ou moins cohérente avec la hiérarchie prosodique.

Ce comportement différent entre ces deux types de groupes de consonnes miroirs, antérieur-postérieur vs postérieur-antérieur, semble indiquer que des contraintes articulatoires inhérentes au groupe /kl/ et /kt/ pourraient expliquer leur moins grande possibilité de modification du timing des gestes linguopalataux. Ces groupes montreraient probablement une cohésion articulatoire plus résistante.

Deux différences articulatoires sont communément rapportées concernant les enchaînements linguopalataux entre, d'une part, consonne antérieure et postérieure, et, d'autre part, postérieure et antérieure.

Hardcastle & Roach (1977) relatent que le chevauchement dans le groupe /tk/ est plus important que dans son groupe miroir /kt/. De même, Byrd (1996) rapporte que le groupe /dg/ est caractérisé par une coproduction inter-gestuelle plus importante que le groupe /gd/. Respectivement, ces auteurs interprètent cette différence par des contraintes mécaniques musculaires ou par une contrainte acoustico-perceptive moins importante (pour /dg/).

Pour notre part, nous n'observons pas ce phénomène. Tous nos locuteurs montrent un chevauchement plus important ou équivalent entre les groupes postérieur-antérieur et leur groupe miroir (figure III.2.22).



**Figure III.2.22** – Durée moyenne du chevauchement entre le début de C2 et la fin de C1 (DCC) pour chacun des groupes, des locuteurs et des contextes prosodiques

La différence entre les deux groupes repose essentiellement sur le fait que la coproduction réduit nettement pour les groupes /lk/ et /tk/ et non pour les groupes /kl/ et /kt/.

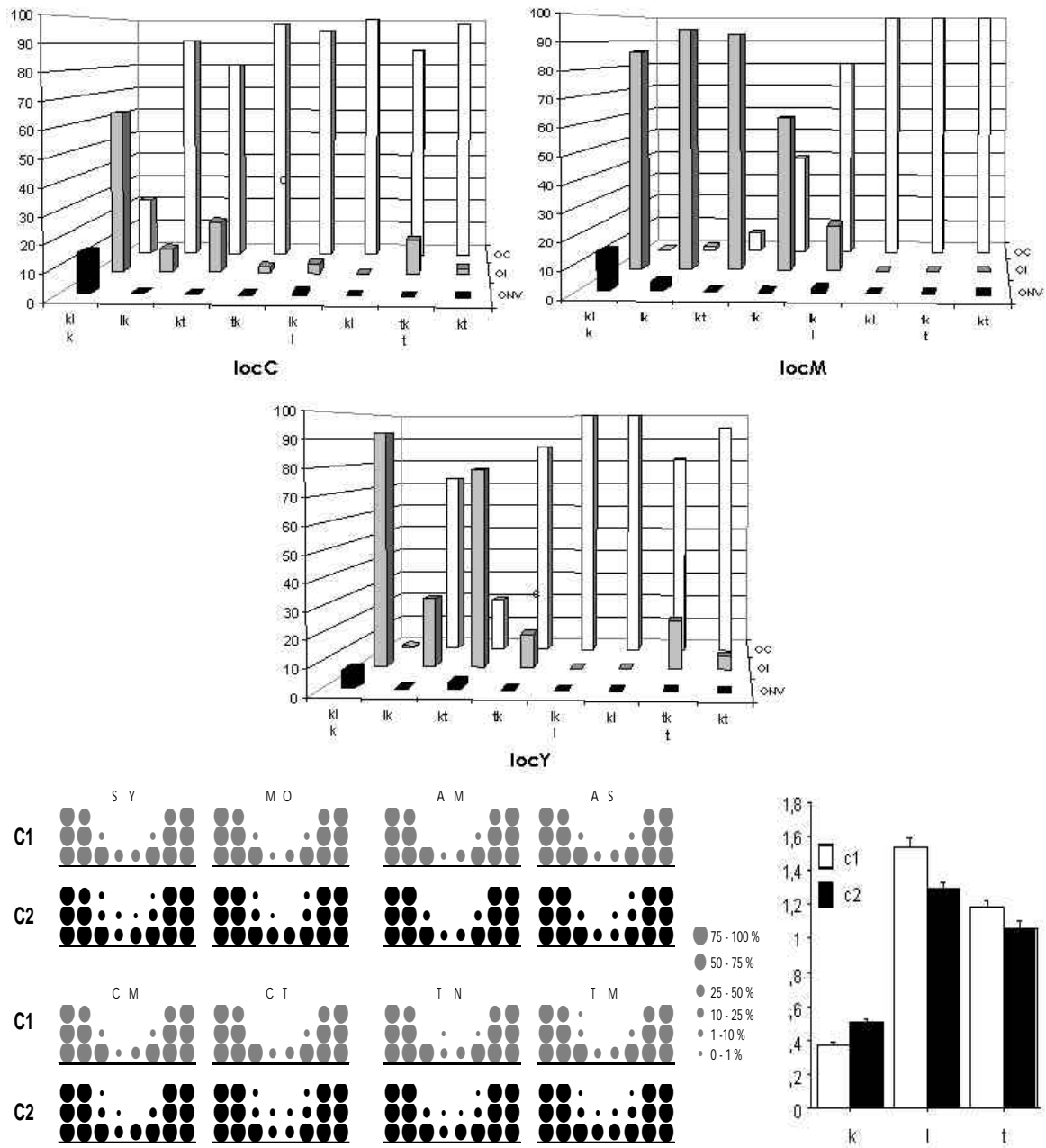
Par exemple, /lk/ montre un chevauchement légèrement inférieur en moyenne à celui de /kl/ en contexte inaccentué. Par contre, en contexte accentué ou intonatif, il tend nettement à séparer temporellement les gestes des deux consonnes, à l'inverse de /kl/ qui est toujours réalisé avec un chevauchement articulatoire pour tous les contextes, et tend même plutôt à augmenter, plus la frontière démarque des constituants prosodiques plus importants. Ce même comportement caractérise également le groupe /kt/ au regard du groupe /tk/.

Les faits et les interprétations de Byrd et Hardcastle & Roach ne permettent pas de rendre compte de nos résultats. Nous n'avons pas réellement d'explication à cette différence entre leurs études et la nôtre, même si les contextes vocaliques, la procédure de mesure et la langue est différente dans les deux cas.

Néanmoins nous pouvons constater que les groupes constitués d'une consonne postérieure suivie

d'une antérieure (/kl/ et /kt/) sont plus résistants à l'influence d'une frontière prosodique interconsonantique que les groupes composés d'une consonne antérieure suivie d'une postérieure (/lk/ et /tk/). Nous supposons qu'une plus grande cohésion articuloire pour le premier type de groupe pourrait expliquer une absence de modification importante du timing interconsonantique.

Cette interprétation pourrait être appuyée par le fait que les groupes /kl/ et /kt/ sont caractérisés par une postériorisation du lieu d'articulation de /k/ par rapport à sa production après une consonne antérieure (/lk/ et /tk/).



**Figure III.2.23** – Pourcentage des occlusions complètes (OC), incomplètes (OI) et non visibles (ONV) pour chaque consonne C1 et C2 pour les trois locuteurs (en haut). Contacts EPG cumulés dans la zone postérieure pour /k/ en C1 et C2 (en bas à gauche). Indice de Postériorité de /k/ et d'Antériorité de /l/ et /t/ selon leur position dans le groupe (en bas à droite), tous locuteurs confondus

En effet, la figure III.2.23 illustre ce phénomène de postériorisation de /k/ dans /kl/ et /kt/ selon plusieurs mesures. Tout d'abord, on peut constater que la fréquence d'occlusions non visibles ou

incomplètes (partiellement visibles) augmente par rapport à celle des d'occlusions complètes (totalement visibles), quand la consonne /k/ constitue le premier membre du groupe (figure III.2.23, en haut)<sup>48</sup>. Plus l'articulation est postérieure, c'est-à-dire vélaire, moins elle est visible sur le signal EPG. Cette postériorisation est également visible à partir des cumuls de contacts EPG montrant que les électrodes centrales de la rangée la plus postérieure sont moins fréquemment contactées pour /k/ de /kt/ et de /kl/ (C1), et que les seuls contacts centraux plus antérieurs concernent /k/ de /lk/ et /tk/ (C2, figure III.2.23, en bas à gauche). Cette articulation se traduit par un indice de postériorité significativement plus faible pour /k/ en position C1 (figure III.2.23, en bas à droite).

Ce comportement est mis en évidence notamment à l'aide de l'EPG par Gibbon et al. (1993) et confirmé avec une investigation électro-magnétographique par Hardcastle et al. (1996). Ces études montrent qu'il n'est pas interprétable par le raisonnement inverse, à savoir une antériorisation de /k/ dans /lk/ et /tk/, du fait que /k/ de /kl/ est postériorisé en comparaison de sa réalisation en contexte inter-vocalique.

De plus, dans ces groupes, le lieu d'articulation de la consonne antérieure est également modifié. Il apparaît, en effet, que /l/ de /kl/ et /t/ de /kt/ sont antériorisés par rapport à la position C2 dans le groupe (figure III.2.23, en bas à droite).

Les groupes /kl/ et /kt/ semblent donc montrer que des contraintes articulatoires importantes sous-tendent l'enchaînement des gestes dorsaux et apicaux, notamment par le fait que les lieux articulatoires de la consonne postérieure et antérieure composant le groupe se déplace en périphérie. Ces contraintes expliquent peut-être la moins grande possibilité de variations contextuelles, notamment temporelles, de ces groupes. Ainsi, Hardcastle (1985) n'observe une diminution importante du chevauchement articulatoire pour /kl/ seulement en contexte de frontière syntaxique majeure et pour un débit lent. Ce fait laisserait entrevoir cette possibilité.

A ce propos, un point méthodologique est à souligner. L'articulation plus postérieure, vélaire, de /k/ dans /kl/ et /kt/ peut également poser des problèmes dans la prise de mesures EPG. En effet, dans les cas d'occlusion incomplète, seulement une partie encore plus réduite du geste est observée. Dans ces cas, on ne mesure très probablement pas le geste lui-même, mais les contacts d'élargissement de la constriction palatale qui se fait vers l'avant pour /k/ (Rochette 1973, Fougeron 1998). Il est donc très probable que la prise de mesure ait des conséquences, qui restent difficiles à cerner, sur les résultats obtenus pour ce type de groupe, tant du point de vue spatial que temporel.

Bien que nous ayons exclu de l'analyse les cas d'occlusion très incomplète (catégorie des « non visibles », cf. §II.3:2.2), nous avons cependant conservé ceux pour lesquels deux contacts EPG centraux manquaient dans la rangée la plus postérieure. Ces cas sont largement plus nombreux pour les groupes /kl/ et /kt/ que pour les groupes /lk/ et /tk/, comme nous venons de le voir.

Parmi les items retenus dans l'analyse articulatoire, les occlusions incomplètes de /k/ en position C1 représentent près de 40 % des items, alors qu'en position C2, elles ne représentent qu'un peu moins de 20 %, tous locuteurs confondus. Il pourrait en résulter une moins grande précision dans la prise de mesure EPG pour ce type de groupe. Cette imprécision, relative au fait que ce n'est pas le geste lui-même qui est mesuré mais seulement son extension palatale, pourrait bien sûr avoir des incidences sur les phénomènes observés. Ces effets restent cependant très difficiles à évaluer.

Peu de travaux portent sur la réduction de la coarticulation C#C selon une frontière inter-consonantique croissante en fonction de la hiérarchie des constituants prosodiques. Un certain nombre porte sur l'effet d'un accent (Kent & Netsell 1971, de Jong et al. 1993, de Jong 1995, Meynadier et al. 1998, par exemple), ou de la frontière de mot (Byrd 1996), mais seuls les travaux de Byrd et al. (2000) et de Hardcastle (1985) traitent plus spécifiquement de cet aspect.

Le changement que nous observons dans la coordination des gestes de constriction linguopalatale entre consonne finale et consonne initiale, au moins pour /tk/ et dans une moindre mesure pour /lk/,

<sup>48</sup> Les cas d'occlusion non visible ont été exclus de l'analyse (cf. §II.3:2.1.2)

rejoint en partie les résultats obtenus par Byrd et al. (2000).

Ces auteurs montrent que le geste de fermeture de la consonne post-frontalière est retardé par rapport au début de la consonne pré-frontalière, cette modification de timing inter-consonantique reposant sur la présence d'une frontière intonative majeure. Dans cette étude, un allongement articuloire tant du geste codaique que du geste d'attaque permet cette manœuvre. Cet allongement des deux côtés de la frontière repose sur une décélération articuloire du fait d'une diminution de la tension des gestes.

Ce mécanisme est compatible avec les résultats obtenus par Hardcastle (1985) qui montre que seul une parole lente permet une réduction importante et régulière inter-individuellement dans le groupe /kl/ séparé par une frontière syntaxique majeure.

Pour notre part, nous n'avons mis en évidence un allongement spécifique ni pour la consonne post-frontalière, ni réellement pour la consonne pré-frontalière (cf. §III.2:1.2.1.a). Ce changement de timing inter-consonantique pourrait donc reposer directement sur une modification des relations de phase entre C1 et C2.

De plus, un effet relatif à la nature des groupes est observé et tend à montrer que des contraintes articuloires spécifiques inhérentes à l'enchaînement consonantique postérieur-antérieur restreignent les modifications du timing inter-gestuel trans-frontalier en fonction du contexte prosodique.

### 3

#### ***Corrélat coarticuloires entre segments non contigus***

Nous examinons ici les modifications temporelles entre gestes consonantiques et vocaliques séparés par une frontière prosodique hiérarchiquement croissante : tout d'abord entre la consonne finale pré-frontière et la voyelle de la syllabe initiale post-frontalière (C1#V2), puis entre la voyelle finale de constituant et la consonne initiale du constituant suivant (V1#C2).

Il ressort que, pour ces enchaînements trans-frontaliers entre segments non contigus, la procédure permet de dégager un nombre plus important de mesures pour une plus grande variété de groupes, que pour les enchaînements C1#C2 et #C2V2, et que pour l'articulation des segments C1, C2 et V2.

Cela indique que les modifications de timing et de durée sont peut-être plus amples à ce niveau d'observation, et/ou que des changements non significatifs, mais réguliers, affectent la séquence en différentes positions syntagmatiques, qui cumulés deviennent significatifs quand on observe les phénomènes avec une fenêtre temporelle plus large.

#### **3.1. La coproduction C1#V2**

Concernant l'enchaînement entre la consonne pré-frontalière et la voyelle post-frontalière, 16 mesures sont dégagées par la procédure et montrent une influence de la hiérarchie prosodique (tableau III.2.10). La plupart concerne le groupe /lk/ et dans une moindre mesure le groupe /tk/ et /kl/.

Toutes vont dans le même sens d'un accroissement temporel de l'intervalle inter-gestuel, entre la fin des différentes phases articuloires de la consonne et le début acoustique ou EPG de la voyelle, en fonction de l'importance hiérarchique accrue de la frontière prosodique médiane.

Cet allongement de l'intervalle CV permet de distinguer de 2 à 4 niveaux hiérarchique pour /lk/. Toutes mesures confondues, ce contexte montre que, d'une part, les frontières intonatives (continuatives et conclusives) sont toujours plus marquées que les démarcations syllabique et lexicale en contexte inaccentué (INA), et, d'autre part, que la catégories accentuelle et la catégorie intonative continuative ont un comportement hiérarchique moins homogène selon les mesures.

Le contexte /tk/ rend compte globalement du même comportement que /lk/, mais de façon moins marquée en termes de niveaux distingués (de 2 à 3) et de nombre de mesures différentes concernées (5 au total).

**Tableau III.2.10** – Tests post hoc et étendue moyenne pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues concernant la coproduction C1#C2

temporel	mesure	gps	tests post hoc	étendue	index
durée	dur.sq	lk	INA-ACC < ICT < ICC	39,7	256-294
	Dvoy.cs	lk	INA < ACC < ICC-ICT	22,8	257-295
	Dvoy.occ	lk	INA < ACC < ICC-ICT	19,2	261-300
	Dvoy.max	lk	INA < ACC < ICT < ICC	24,1	259-297
	Dmin.cs	lk	INA-ACC < ICC-ICT	23,2	263-303
		tk	INA < (ICT)-ACC < ICC	30,8	269-313
	Dmin.occ	lk	INA < ACC < ICT-ICC	29,4	265-305
	Dmin.max	lk	INA-ACC < ICT-ICC	23,4	264-304
		tk	INA-ACC-ICT < ICC	31,9	270-314
	latence relative	Pcs.voy	kl	INA-(ACC) < (ICT)-ICC	15,2
lk			INA < ACC-ICC < ICT	53,0	258-296
tk			INA < ICT-ACC < ICC	33,2	266-308
Pocc.voy		lk	INA < ACC < ICC-ICT	49,4	262-302
		tk	INA < ACC < (ICT)-ICC	34,6	268-312
Pmax.voy		lk	INA < ACC < ICC-ICT	52,2	260-299
		tk	INA < ICT-ACC < ICC	35,8	267-310
Pmax.min		kl	INA-ACC-ICC < ICT	124,5	248-281

Les modifications affectant /kl/ ne concernent que deux mesures de latence relative entre C1 et V2. Elles ne distinguent que deux niveaux de manière différente, selon les regroupements inter-catégoriels opérés.

### 3.1.1. L'allongement de la séquence

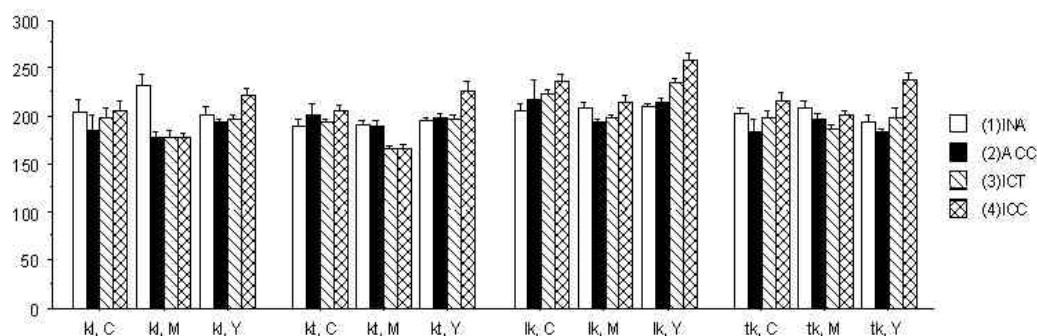
L'allongement général de la séquence ne concerne que le groupe /lk/. Il permet exactement les mêmes distinctions hiérarchiques des catégories que l'allongement du groupe de consonnes et pour une étendue maximale moyenne identique entre INA et ICC : 43 ms pour le groupe (tableau III.2.8) et 40 ms pour la séquence C1#V2.

Ces deux points indiquent que la durée de la séquence en fonction du contexte prosodique repose très largement sur les modifications de durée et du timing affectant le groupe de consonnes qui la compose.

Le fait que seul ce groupe ressorte de la procédure tient probablement à ce qu'il est le groupe de consonnes le plus long. En moyenne, tous locuteurs et catégories prosodiques confondus, il a une durée de 143 ms, alors que /tk/, /kl/ et /kt/ ont une durée respectivement de 132, 121 et 109 ms. Cette durée plus longue est également renforcée par un allongement différentiel selon la hiérarchie prosodique de la consonne codaïque /l/ presque trois fois supérieur aux autres consonnes : 36 %, alors que celui de /t/ et /k/ n'est que de 13 % environ (tableau III.2.6).

De plus, le chevauchement articulatoire dans ce groupe est quasi inexistant (sauf en contexte INA), alors que les autres groupes sont caractérisés par un chevauchement inter-consonantique important (figures III.2.22 et III.2.20).

Les autres groupes de consonnes ne semblent pas montrer, ou très ponctuellement, la même sensibilité que /lk/ à la hiérarchie prosodique (figure III.2.24), probablement du fait que la consonne codaïque /l/, par son caractère voisé, participe à l'établissement du contour mélodique dans la rime (cf. §II.2:1.2.5).



**Figure III.2.24** – Durée moyenne de la séquence C1#V2 pour chaque groupe et locuteur selon la hiérarchie prosodique

### 3.1.2. L'intervalle inter-gestuel

Les mesures montrent que l'augmentation de la durée de l'intervalle CV selon la hiérarchie prosodique ne concerne que les groupes /lk/ et /tk/.

Pour /lk/, cet allongement est constaté pour tous les types de mesures effectuées entre les différentes phases articulatoires de la consonne (geste linguopalatal, constriction maximale et occlusion) et celles de la voyelle (phase acoustique et geste d'ouverture linguopalatale maximale). Ce groupe montre donc un effet très marqué du contexte prosodique. L'écart temporel entre la fin de la tenue de la consonne et le début acoustique de la consonne permet ainsi de distinguer catégoriellement les quatre niveaux de frontière selon leur ordre hiérarchique. Nous pouvons là encore relier ce phénomène au fait que ce groupe se caractérise par une absence de chevauchement inter-consonantique.

L'autre groupe antérieur-postérieur (/tk/) montre également une certaine sensibilité à l'influence de la hiérarchie prosodique. L'intervalle VC augmente entre la fin du geste linguopalatal ou de l'occlusion consonantique et le début du minimum de contact EPG de la voyelle. Reste que l'allongement de cet intervalle inter-gestuel ne permet de distinguer que véritablement la frontière intonative conclusive des autres types de démarcation.

Aucun des groupes /kt/ et /kl/ ne répond de ce point de vue à une influence systématique inter-individuelle de la hiérarchie prosodique.

Les mesures de latence relative inter-gestuelle vont dans le même sens que les mesures de durée. Elles montrent pour les groupes /lk/, /tk/ et /kl/ que l'articulation linguopalatale de la consonne pré-frontalière s'arrête plus tôt par rapport au début acoustique de la voyelle. La coproduction est donc plus réduite, plus la frontière prosodique est élevée dans la hiérarchie prosodique (figure III.2.25).

/lk/ apparaît encore comme le groupe le plus sensible à l'influence prosodique. Deux des mesures le concernant montrent un intervalle inter-gestuel augmentant de manière catégorielle selon trois niveaux hiérarchiques : frontière de syllabe ou de mot < frontière accentuelle < frontière intonative.

Le même phénomène est observé pour le groupe /tk/, mais de façon moins prononcée et moins parallèle à la hiérarchie prosodique. Dans son cas, la frontière intonative conclusive, par une latence entre C1 et V2 plus longue, et la frontière syllabique ou lexicale, par un délai plus court, se distinguent respectivement de manière systématique des deux autres niveaux intermédiaires de frontière prosodique (accentuelle et intonative continuative).

De ce point de vue, le groupe /kl/ montre également une certaine sensibilité à l'influence du contexte prosodique, bien que les deux mesures ressortant pour ce groupe ne soient pas homogènes au regard des regroupements statistiques des catégories prosodiques. Néanmoins, ce contexte segmental ne montrait, jusqu'alors, aucune véritable modification dans son timing inter-consonantique ou dans l'articulation de ses segments en fonction de la hiérarchie prosodique.

Pour ce groupe, le fait que la latence relative trans-frontalière entre C1 et V2 soit sensible, même imparfaitement, à la hiérarchie prosodique, indique que des changements ténus et non significatifs dans son articulation et/ou son timing répondent tout de même à l'influence du contexte prosodique. Ces

légères modifications temporelles cumulées apparaissent de façon plus marquée dans les relations temporelles entre éléments plus éloignés de la frontière, mais toujours soumis à son influence.

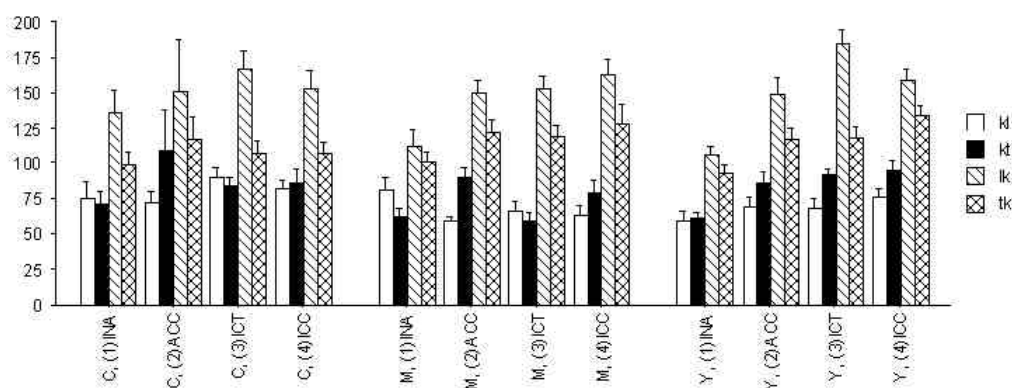
En définitive, il apparaît que le timing inter-gestuel entre la consonne codaique pré-frontalière et la voyelle post-frontalière est modifié dans le sens d'un éloignement plus marqué des gestes, plus la frontière prosodique inter-segmentale correspond à une démarcation importante dans l'énoncé.

Les différences de timing opérées entre les segments non contigus vont dans le sens d'une rupture syllabique plus nette entre la rime de syllabe finale de constituant et le noyau de la syllabe initiale du constituant suivant, plus le niveau hiérarchique de la frontière prosodique est élevé.

Si l'on rattache ces faits aux modifications de timing internes à la rime V1C1# et à celles relatives au timing inter-gestuel C1#C2, on peut penser que, au moins pour les groupes /lk/ et /tk/, plus la frontière prosodique est élevée, plus la cohésion articulatoire est importante à l'intérieure de la rime de la syllabe finale, et plus la rupture temporelle entre les gestes trans-frontaliers est marquée.

Nous observons également, encore ici, une sensibilité différente des groupes face au niveau de frontière prosodique inter-segmentale. On peut penser que plus un groupe est articulatoirement sensible à cet effet, plus il distinguera de niveaux prosodiques différents selon sa place hiérarchique et plus un nombre important de mesures permettront d'asseoir cet effet. Si l'on retient ce critère de sensibilité croissante des groupes à la hiérarchie prosodique, l'ordre suivant apparaît : /lk/-/tk/ > /kl/-/kt/ (figure III.2.25).

Nous avons vu précédemment que /kt/ et /kl/ se caractérisent par une coproduction plus importante que leur groupe miroir respectif /tk/ et /lk/. Ils manifesteraient une plus grande cohésion articulatoire, du fait de contraintes inhérentes qui les rendent moins sensibles aux variations de timing inter-gestuel. A l'inverse /tk/ et /lk/ paraissent moins coarticulés et manifestent d'une moins grande résistance aux variations contextuelles (cf. §III.2:2.3). C'est ce que nous observons également ici au niveau de l'effet de frontière sur les relations temporelles entre la consonne initiale du groupe et la voyelle initiale post-frontalière.



**Figure III.2.25** – Latence relative entre la fin EPG de C1 et le début acoustique de V2 (*Pcs.voy*) pour chaque groupe et locuteur selon la hiérarchie prosodique

La figure III.2.25. montre ainsi que même les groupes /kl/ et /kt/ semblent répondre, même de façon plus réduite et moins cohérente que les groupes /lk/ et /tk/, à l'influence de la hiérarchie prosodique concernant le délai inter-gestuel trans-frontalier entre geste consonantique codaique et geste vocalique initiale.

Ainsi, le fait que la séquence /k#(l)a/ réponde, bien qu'imparfaitement, à l'influence de la hiérarchie prosodique, indique que des modifications de timing ou de durée interviennent également dans l'articulation consonantique et/ou la coordination C#C ou #CV en frontière prosodique majeure pour les groupes les plus résistants.

Un point particulier est à noter concernant le groupe /kl/. Celui-ci est différent des trois autres au regard de la syllabation. Les groupes de consonnes composés d'une occlusive suivie d'une liquide



(/kl/) ou d'un glide sont tautosyllabiques, alors que leur groupe miroir (/lk/) et les groupes de deux occlusives (/kt/ et /tk/) sont hétérosyllabiques (Delattre 1940b, Pulgram 1965, Dell 1995).

Dans son cas, la position de la frontière prosodique, observée ici, n'est pas superposée à la frontière syllabique. En parole continue, ce type de séquence consonantique VC#CV (/ak#la/) est resyllabifiée en V#CCV (/a#kla/) en frontière de mot (Delattre 1940b, 1951, Meynadier 2001).

Or, le fait que la latence relative entre /k/ pré-frontalier et /a/ post-frontalier augmente en frontière de groupe intonatif ou accentuel pourrait indiquer que cette resyllabification est bloquée par une démarcation prosodique.

Cette interprétation serait compatible avec la conception de certains auteurs qui considèrent qu'en français le groupe rythmique (ou syntagme phonologique marqué par l'accent final) est le domaine de la resyllabification CC ou CV. Ainsi, en frontière de groupe accentuel ou de groupe intonatif, la resyllabification post-lexicale pourrait ne pas être opérée (Delattre 1940b, Pulgram 1970, Lauefer 1985) : « *The coarticulation between two consonants across a prosodic boundary is suspended, suggesting that preconsonantal enchainement does not take place across rhythmic group boundaries.* » (Lauefer 1985 : 348).

### 3.2. La coproduction V1#C2

Cette séquence trans-frontalière, entre la voyelle V1 de la syllabe finale et la consonne C2 initiale de la syllabe post-frontalière, est celle pour laquelle la hiérarchie prosodique est la mieux exprimée aux niveaux des relations temporelles entre les gestes articulatoires.

En effet, 35 mesures concernent cette séquence, c'est-à-dire 34 % des 102 mesures retenues par la procédure. De plus, tous les groupes sont représentés par un nombre conséquent de mesures. De 2 à 4 niveaux de frontière prosodique sont distingués, avec seulement 7 cas sur 35 (20 %) où une des deux catégories intonatives ne se différencie pas d'une des deux catégories inférieures (tableau III.2.11).

Les résultats montrent cependant un effet croisé très marqué entre le type de groupes, le sens des variations observées selon la hiérarchie prosodique et le type de mesures. Cette interaction est complexe et limite l'interprétation des résultats.

Seule la durée de la séquence augmente de façon homogène pour tous les contextes consonantiques.

#### 3.2.1. L'allongement de la séquence

La durée de la séquence s'allonge distinctivement pour tous les groupes selon les 3 à 4 niveaux prosodiques hiérarchiques suivants : frontière syllabique ou lexicale = frontière accentuelle < frontière intonative continuative < frontière intonative conclusive. Les distinctions opérées sont quasiment les mêmes que celles effectuées par l'allongement de la rime (V1C1#).

La durée de la séquence semble donc dépendre très étroitement de celle de la rime, ce que la corrélation entre elles fait apparaître puisque  $r^2$  est égal à 0,719 pour les groupes /lk/ et /tk/, et à 0,799 pour les groupes /kl/ et /kt/.

Les corrélations entre la durée de V1#C2 et la voyelle accentuée V1 indiquent une dépendance plus faible de la séquence au regard de l'allongement de la voyelle finale :  $r^2 = 0,696$  pour /lk/ et /tk/ et 0,644 pour /kl/ et /kt/.

#### 3.2.2. L'intervalle inter-gestuel

Les mesures de timing articulatoire entre la voyelle finale pré-frontalière et la consonne initiale post-frontalière rendent compte d'un effet très prononcé du type de groupes de consonnes, postérieur-antérieur vs antérieur-postérieur, composant la séquence.

S'agissant des groupes /kl/ et /kt/, la durée de l'intervalle V1#C2 ne semble pas être affectée par la hiérarchie prosodique, puisqu'aucune mesure ne le montre. Par contre, la proportion de cet intervalle dans la séquence diminue graduellement plus la frontière prosodique est importante, et quelque soit les phases articulatoires vocaliques et consonantiques prises en compte.

**Tableau III.2.11** – Tests post hoc et étendue moyenne pour les mesures articulatoires inter-individuelles retenues concernant le timing articulatoire dans la séquence trans-frontalière V1#C2

temporel	mesure	gpcs	tests post hoc	étendue	index	
durée	dur.sq	kl	INA-ACC < ICT < ICC	52,6	184-213	
		kt	INA < ACC < ICT < ICC	73,6	201-233	
		lk	INA < ACC < ICT < ICC	68,1	221-249	
		tk	INA-ACC < ICT < ICC	54,4	230-260	
	Dvoy.cs	lk	INA < ACC < ICT < ICC	31,2	222-250	
		tk	INA-ACC < ICT < ICC	19,8	231-261	
	Dvoy.max	tk	INA-(ACC) < ICT < ICC	26,8	234-263	
	Dmin.cs	lk	INA-ACC < ICT < ICC	30,1	224-255	
		tk	INA-ACC < ICT < ICC	23,9	235-267	
	Dmin.occ	tk	INA < ACC-ICT < ICC	29,2	239-274	
	Dmin.max	tk	INA-(ACC) < ICT < ICC	30,9	237-271	
	proportion	voy.csSQ	kl	ICT < ICC < INA-ACC	5,3	185-214
			kt	ICT < ICC-INA < ACC	5,6	202-234
		voy.occSQ	kl	ICT < ICC < (INA)-ACC	6,0	189-218
kt			ICT-ICC < ACC-INA	5,6	206-238	
voy.maxSQ		kl	ICT-ICC < ACC-INA	6,5	187-216	
		kt	ICT-ICC < ACC-INA	4,7	204-235	
min.csSQ		kl	ICT-ICC < ACC-INA	4,1	191-220	
		kt	ICT-(ICC) < ACC < INA	9,3	208-239	
min.occSQ		kt	ICT-(ICC) < ACC < INA	9,3	212-242	
		kl	ICT-ICC < ACC-INA	4,1	195-223	
min.maxSQ		kt	ICC-(ICT) < ACC < INA	10,6	210-241	
latence relative		Pcs.voy	kl	ICT-ICC < ACC < INA	37,3	186-215
			lk	INA < ACC-ICT < ICC	29,9	223-252
		Pvoy.cs	tk	INA-ACC < ICT-ICC	20,6	233-262
	kl		ICT-ICC < ACC < INA	40,9	190-219	
	Pmax.voy	kl	ICT-ICC < ACC < INA	45,7	188-217	
		kt	ICT < ICC < ACC < INA	29,0	205-236	
	Pcs.min	kl	ICC-ICT < ACC < INA	149,4	192-221	
		kt	ICT-ICC < ACC < INA	110,2	209-240	
	Pmin.cs	lk	INA < ACC < ICT-ICC	27,8	225-256	
		tk	INA-ACC < ICT-ICC	24,5	236-269	
	Pocc.min	kl	ICC-ICT < ACC < INA	149,4	196-224	
	Pmax.min	kl	ICC-ICT < ACC < INA	159,8	194-222	
		tk	ICT < ICC < ACC-INA	107,5	238-273	

Cela indiquerait, en première analyse, que la cohésion temporelle entre V1 et C2 augmente avec l'allongement de la séquence en fonction de l'importance de la frontière prosodique inter-gestuelle.

Les mesures de latence relative semblent corroborer cette supposition, puisque le début de l'articulation de la consonne se rapproche progressivement de la fin de la voyelle, plus la frontière est importante.

Ce résultat est contre-intuitif, puisque l'on s'attendrait plutôt à une démarcation plus importante entre V1 et C2, se traduisant par un délai inter-gestuel plus grand.

Concernant /lk/ et /tk/, le phénomène inverse se produit. La durée de l'intervalle V1#C2 augmente avec la hiérarchie prosodique, alors que sa proportion dans la séquence n'y est pas sensible.

Cela pourrait indiquer qu'il n'y a pas de changement de timing entre les deux articulations et que la durée de l'intervalle augmente proportionnellement avec celle de la séquence.

Or, la latence relative des gestes est modifiée, puisque ces mesures montrent que la voyelle se termine plus tôt par rapport au début de la consonne.

Ainsi, contrairement aux groupes /kl/ et /kt/, les gestes s'éloigneraient temporellement l'un de l'autre selon l'importance de la frontière inter-gestuelle.

Or, cette interprétation ne semble pas convenir, du fait que la latence ne se rapporte pas dans les deux types de groupes au même élément dans la séquence. Dans le cas de /kl/ et /kt/, l'intervalle V1#C2 est rapporté à la durée de la voyelle V1, et dans celui de /lk/ et /tk/ à la durée de C2.

Les variations observées ne sont donc pas directement comparables, du fait que la voyelle accentuée V1 est très marquée par la hiérarchie prosodique et voit sa durée augmenter de manière importante et significative avec elle (cf. §III.2:1.1.1.a). Au contraire, la consonne initiale C2 n'y est pas soumise, et voit même sa durée plutôt diminuer (cf. §III.2:1.1.2).

L'interprétation présentée ci-dessus est donc faussée par le fait que ramener un intervalle temporel constant, ou s'allongeant de manière moins importante, à une durée s'allongeant progressivement et fortement produit un raccourcissement du délai relatif. A contrario, rapporter un intervalle qui s'allonge à une durée constante, ou qui diminue faiblement, provoque un allongement du délai relatif observé. C'est ce qu'ici nous observons respectivement pour les groupes postérieur-antérieur, /kl/ et /kt/ et les groupes antérieur-postérieur, /lk/ et /tk/.

Nous pensons donc que rendre compte du timing articuloire inter-V1#C2 selon ces résultats serait trompeur du fait d'une interaction complexe, mais systématique, entre les facteurs observés, c'est-à-dire les groupes de consonnes, les mesures et la hiérarchie prosodique.

Néanmoins, les effets sont très marqués et méritent une tentative d'explication.

### 3.2.3. Une ré-interprétation des résultats

Afin de rendre compte de l'influence de la hiérarchie prosodique dans cette séquence, et de tenter d'expliquer la nature de cette différence systématique entre les deux types de groupes, nous faisons l'hypothèse que celle-ci est liée en partie à leur nature, répondant à des contraintes articuloires inhérentes différentes. Ainsi, nous avons vu précédemment (cf. §III.2:2.3.3) que /kt/ et /kl/ sont caractérisés par une cohésion articuloire importante, les rendant nettement moins sensibles à l'influence du contexte prosodique, à l'inverse de /lk/ et /tk/.

Nous postulons que ces différences ne conditionnent cependant pas un comportement articuloire strictement opposé au regard de la hiérarchie prosodique, mais au plus une absence ou une réduction des modifications concernant les groupes plus résistants. Ces groupes devraient donc montrer la même tendance générale que l'autre type de groupes, même de manière beaucoup plus affaiblie, ou hétérogène, du fait de leur moins grande sensibilité contextuelle prosodique.

Les résultats, présentés dans le tableau III.2.11, ne montreraient pas en fait une profonde contradiction dans l'influence de la hiérarchie selon les groupes, mais une sensibilité différente de ceux-ci s'exprimant par des mesures différentes.

Afin de tester notre hypothèse, sur une tendance globale similaire des groupes au regard de la hiérarchie de la frontière inter-gestuelle, nous analysons les mesures qui n'ont pas été retenues par la procédure pour chacun des deux types de groupes.

Ainsi, pour un type de groupes donné, nous nous attendons à observer une tendance globale de variation inter-individuelle de même sens, selon la hiérarchie prosodique, que celle observée pour l'autre type de groupes, pour lesquels les mesures sont ressorties.

Cette attente repose sur deux constats. D'une part, la variation de durée de la séquence V1#C2, identique pour les deux types de groupes, est très marquée, même si elle repose principalement sur l'allongement de la rime. D'autre part, il apparaît que /tk/ montre une mesure de latence (*Pmax.min*, tableau III.2.11) qui varie dans le même sens que les mesures du même type relatives aux groupes /kl/ et /kt/ : c'est-à-dire dans le sens d'une latence de C2 par rapport à V1

diminuant catégoriellement avec la hiérarchie prosodique.

Nous examinons ici seulement les mesures qui montrent une grande cohésion avec la hiérarchie prosodique pour la séquence V1#C2. Pour chaque type de groupes, les mesures non retenues par la procédure, choisies pour tester cette hypothèse, sont les suivantes :

- (1) pour /kt/ et /kl/ :
  - . *Dmin.cs* : la durée de l'intervalle VC entre la fin de l'ouverture EPG de V1 et le début EPG de C2. Nous nous attendons à ce qu'elle tende à augmenter.
  - . *Pmin.cs* : le délai relatif de la fin de l'ouverture maximale de V1 par rapport au début EPG de C2 (c'est-à-dire l'intervalle VC rapporté à la durée de C2). Nous devrions observer une tendance à une augmentation, ou à une « stabilité » du fait que ces groupes sont peu sensibles au contexte prosodique et que leur durée n'augmente pas avec la hiérarchie prosodique (cf. §II.2.2.3). On ne peut donc pas s'attendre à une variation marquée.
- (2) pour /lk/ et /tk/ :
  - . *min.csSQ* : la proportion de l'intervalle VC entre la fin de l'ouverture EPG de V1 et le début EPG de C2. Nous supposons qu'elle tend à diminuer.
  - . *Pmax.voy* : la latence relative du début de la tenue maximale de C2 par rapport à la fin acoustique de V1 (c'est-à-dire l'intervalle VC rapporté à la durée de V1). Cette mesure devrait montrer un délai plus court, c'est-à-dire des valeurs moyennes plus basses selon la place hiérarchique croissante des catégories prosodiques.

Ces hypothèses sont récapitulées dans le tableau III.2.12 ci-dessous. Pour les deux types de groupes. Il rappelle leur sens de variation observé dans les hiérarchies articulatoires (tableau III.2.11) et celui attendu pour les groupes non représentés pour chacune de ces mesures.

**Tableau III.2.12** – Résultats attendus et observés (tableau III.2.11) pour les variations homogènes de timing entre V1 et C2 selon la hiérarchie prosodique croissante pour chaque type de groupes et de mesures

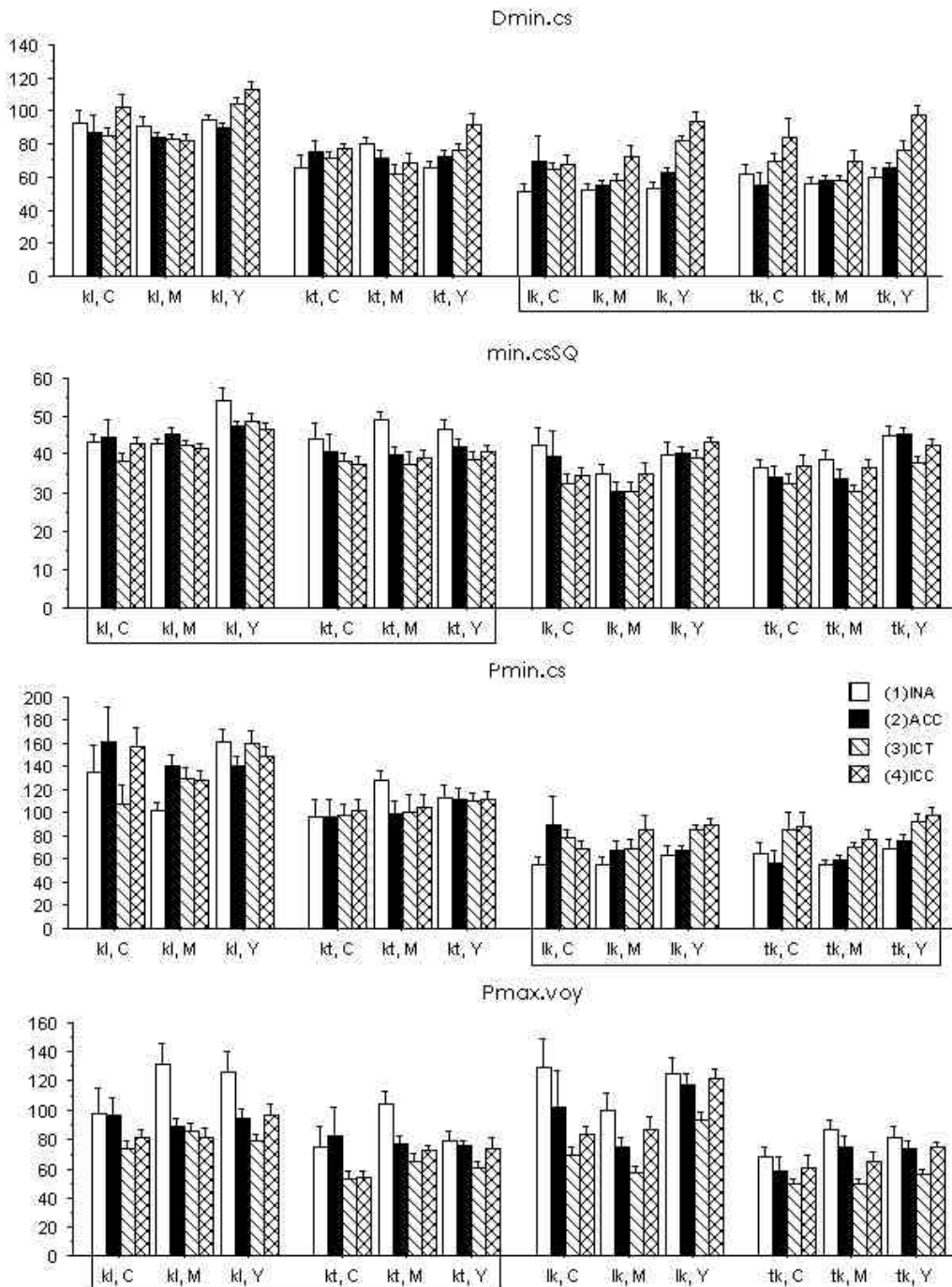
type de groupe	résultat	<i>Dmin.cs</i>	<i>min.csSQ</i>	<i>Pmin.cs</i>	<i>Pmax.voy</i>
kl / kt	observé		↘		↘
	attendu	↗		↗ ou ~	
lk / tk	observé	↗		↗	
	attendu		↘		↘

Les résultats confirment globalement que les deux types de groupes tendent inter-individuellement (au moins pour deux locuteurs) à se comporter de la même manière au regard du timing inter-gestuel V1#C2. Ils sont présentés dans la figure III.2.26.

Certes, les groupes pour lesquels les mesures n'ont pas été dégagées par la procédure répondent évidemment beaucoup moins bien à la hiérarchie prosodique. Reste que globalement, même si cela ne concerne pas tous les locuteurs, ils répondent, même de manière imparfaite, à la tendance générale attendue en fonction de la hiérarchie prosodique, à savoir :

- (1) un allongement de l'intervalle VC (*Dmin.cs*) ;
- (2) une diminution de sa proportion dans la séquence (*min.csSQ*) ;
- (3) un délai relatif de la fin de V1 par rapport au début de C2 plus long, « stable » ou hétérogène, mais plus rarement décroissante (*Pmin.cs*) ;
- (4) une latence relative entre le début de C2 et la fin de V1 plus courte, c'est-à-dire décroissante (*Pmax.voy*).

La différence entre les types de groupes tiendrait donc plus à l'amplitude générale des variations articulatoires et à l'adéquation à la hiérarchie prosodique qu'à des comportements totalement inverses, comme pourrait le laisser supposer leur sens opposé de variation des hiérarchies articulatoires présentées dans le tableau III.2.11.



**Figure III.2.26** – Résultats observés (encadrés, tableau III.2.11) et relatifs aux tendances générales attendues (tableau III.2.12) concernant le timing entre V1 et C2 selon la hiérarchie prosodique croissante pour chaque type de groupes et de mesures et chaque locuteur. *Commentaires dans le texte*

Ce comportement apparemment opposé pour les mesures de timing relatif (proportion et latence) tient probablement à une interaction complexe entre la nature du groupe, le type de mesure effectuée et la hiérarchie prosodique.

Il apparaît que la hiérarchie prosodique, pour ce type de mesures et concernant la séquence V1#C2, s'exprime entre un élément qui varie peu en fonction du contexte prosodique et un élément qui y est plus sensible.

Les mesures dégagées par la procédure et relatives à /kt/ et /kl/, éléments moins sensibles (notamment concernant les variations de timing inter-gestuel dans le groupe, presque insensibles à

l'influence prosodique, cf. §III.2:2.3), concernant l'intervalle temporel relatif à la voyelle finale, segment le plus corrélé à la hiérarchie prosodique (cf. §III.2:1.1.1).

Au contraire, les mesures dégagées par la procédure et relatives à /lk/ et /tk/, groupes plus sensibles à l'influence prosodique (notamment s'agissant de la durée du groupe et de la réduction de la coproduction inter-gestuelle, cf. §III.2:2.3), se rapportent au délai temporel relatif à C2, élément quasi insensible à l'influence prosodique et dont la durée est très peu affectée par le contexte prosodique (cf. §III.2:1.1.2).

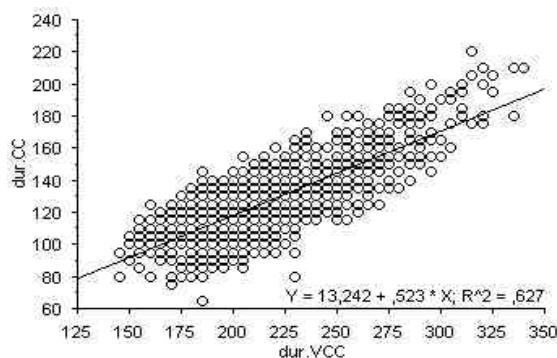
Reste que cet effet croisé est relativement complexe et n'explique pas réellement les phénomènes. Pour ces mesures relatives, les résultats paraissent en l'état impossibles à interpréter de manière fiable.

Il aurait probablement été plus judicieux d'opérer à un autre type de prise de mesures de latence des gestes, permettant de se défaire de l'effet de durée de la phase à laquelle l'initiation ou la fin articulaire du geste suivant ou précédant est rapporté : par exemple, en effectuant ces mesures à partir du milieu temporel l'ouverture maximale de la voyelle ou de la tenue de la consonne.

Nous retiendrons donc ici essentiellement le fait que la séquence V1#C2 s'allonge pour tous les groupes de façon catégorielle selon l'importance hiérarchique de la frontière prosodique, cet allongement étant en grande partie dû à celui de la rime.

Cependant, il ressort également, de manière statistique pour les groupes /lk/ et /tk/ et tendancielle pour les groupes /kt/ et /kl/ (figure III.2.26, *Dmin.cs*), que le délai temporel entre la voyelle pré-frontalière et la consonne post-frontalière augmente graduellement en fonction de la hiérarchie prosodique.

De plus, étant donné que la durée de la séquence consonantique C1#C2 montre une corrélation importante avec celle de la séquence V1#C2 ( $r^2 = 0,627$ , figure III.2.27), on peut également penser que la réduction de la coproduction inter-consonantique participe à une rupture temporelle plus marquée entre le noyau vocalique de la syllabe finale et l'attaque consonantique de la syllabe initiale post-frontalière en fonction de l'importance du niveau prosodique de la frontière.



**Figure III.2.27** – Régression linéaire entre la durée de la séquence V1#C2 (*dur.sq*) et celle des groupes de consonnes (*dur.CC*), tous locuteurs confondus

## 4

### **Conclusions sur les résultats articulaires**

Concernant les co-variations articulaires en fonction de l'importance de la frontière prosodique médiane de la séquence VC#CV, les résultats expérimentaux montrent qu'un certain nombre de phénomènes articulaires répondent catégoriellement de manière assez parallèle à une hiérarchie prosodique composée de quatre niveaux croissants de frontière finale.

D'un côté, ces résultats apparaissent comme relativement réduits, du fait que leur fréquence

d'occurrence inter-individuelle est relativement faible, n'étant représentés que par 9 à 14 % des mesures effectuées.

D'un autre côté, ils paraissent assez réguliers, n'ayant pas de raison de penser que les variations supraglottiques concomitantes à la structure prosodique doivent se réaliser entre tout lieu syntagmatique, dans toutes les dimensions articulatoires, dans tous les contextes phonotactiques et pour tous les locuteurs.

Ces phénomènes sont quasi exclusivement d'ordre temporel et se restreignent à des processus d'allongement et de modifications du timing inter-gestuel croissants avec la hiérarchie prosodique.

Seuls les phénomènes impliquant la voyelle finale (V1) montrent une variation dont l'amplitude croissante permet de distinguer graduellement les quatre niveaux prosodiques de la hiérarchie. Néanmoins, les phénomènes articulatoires observés ne se limitent pas à un marquage supraglottique exclusif de la voyelle ou de la rime de la syllabe finale pré-frontalière.

Les variations articulatoires concernent également les relations inter-gestuelles trans-frontalières, notamment relatives à la consonne codaique pré-frontalière avec la syllabe initiale post-frontalière.

Seule la syllabe initiale est quasi indemne de toute modification articulatoire importante exercée par le niveau hiérarchique de la frontière précédente.

## IV

### ***Interprétation générale et discussion***

Dans cette partie, nous établissons un bilan général des résultats obtenus lors de l'analyse des co-variations articulatoires inter-individuelles assez étroitement parallèles à la structure prosodique, reposant sur une catégorisation large selon quatre niveaux hiérarchiques : frontière entre syllabes inaccentuées internes ou finales de mot < frontière accentuelle interne ou finale de syntagme < frontière intonative continuative < frontière intonative conclusive.

Nous nous intéressons essentiellement aux points inter-individuellement établis par notre procédure d'analyse, c'est-à-dire aux phénomènes dégagés selon leur adéquation minimale à la hiérarchie prosodique proposée et leur homogénéité entre les locuteurs.

Nous laissons principalement de côté les observations concernant des tendances globales que nous avons tenté d'interpréter et dont nous avons pu localement discuter lors de l'analyse articulatoire.

Nous nous concentrons sur les deux objets essentiels de notre étude, à savoir, d'une part, la granularité prosodique et, d'autre part, la nature et la localisation syntagmatique des co-variations articulatoires les plus systématiques observées inter-individuellement.

Ainsi, dans un premier chapitre, nous abordons la question de la granularité des co-variations articulatoires en fonction de la hiérarchie à quatre niveaux graduellement croissants de frontière prosodique. Ce point concerne les distinctions des catégories les plus récurrentes observées à partir de l'articulation des segments et des enchaînements inter-segmentaux dans la séquence VC#CV.

Nous cherchons à savoir lesquelles sont les plus fréquentes et les plus robustes inter-individuellement. Nous verrons alors si ces distinctions sont partagées avec les autres études traitant de cette question et comment elles nous informent sur la nature des unités prosodiques structurelles de l'énoncé et de la parole.

Dans un second chapitre, nous rendons compte des lieux privilégiés inter-individuellement pour le marquage articulatoire supraglottique de l'organisation hiérarchique prosodique de l'énoncé. Nous établissons ainsi un état des phénomènes articulatoires, temporels et spatiaux, les plus robustes aux variations individuelles et à celles du contexte segmental.

Ainsi, dans un premier temps, nous exposons notre interprétation générale des mécanismes articulatoires qui pourraient expliquer de manière intégrée les diverses co-variations articulatoires opérant dans les différents domaines de la séquence VC#CV, en correspondance avec le niveau hiérarchique croissant de la frontière prosodique médiane.

Dans un second temps, nous cherchons à expliquer pourquoi nous n'avons pas mis en évidence un renforcement articulatoire de la consonne initiale post-frontalière selon l'importance hiérarchique du constituant dont elle constitue l'attaque, alors que nombre d'études précédentes l'ont indépendamment montré.



## Chapitre 1

### ***La granularité prosodique des co-variations articulatoires***

Dans cette partie, nous discutons de la nature des distinctions les plus fréquentes entre les différents niveaux prosodiques, c'est-à-dire les plus robustes répondant à des variations articulatoires régulières et homogènes dans le comportement des locuteurs.

Dans un premier temps, nous établissons un bilan des distinctions les plus marquées et celles qui apparaissent comme les moins franches entre les quatre niveaux hiérarchiques considérés dans cette étude.

Puis, nous comparons ces distinctions à celles rapportées dans les autres travaux articulatoires portant sur ce sujet.

Enfin, nous présentons les raisons linguistiques pouvant expliquer cette granularité des co-variations articulatoires parallèles à la structure prosodique hiérarchique.

## 1

### ***Distinctions prosodiques majeures et mineures***

Les 102 mesures articulatoires, dégagées par la procédure d'analyse de l'adéquation prosodique et de l'homogénéité inter-individuelle des variations supraglottiques, nous ont fourni 102 hiérarchies articulatoires répondant assez étroitement à la hiérarchie prosodique proposée. Bien évidemment, toutes les distinctions entre les quatre niveaux prosodiques ne sont pas faites et sont donc variables en fonction du contexte segmental, de la position syntagmatique dans la séquence et du type de mesures effectuées.

Si nous opérons un comptage systématique du nombre des distinctions catégorielles significatives entre les quatre niveaux prosodiques hiérarchiques sur les 102 hiérarchies articulatoires retenues, il apparaît que les co-variations articulatoires reposent principalement sur une dichotomie entre frontière intonative et non intonative. Les niveaux intermédiaires montrent une séparation moins franche.

#### **1.1. Les distinctions prosodiques les plus nettes**

Le tableau IV.1.1 présente la fréquence d'occurrences des différences inter-catégorielles statistiquement significatives entre les différents niveaux prosodiques parmi toutes les variations articulatoires retenues dans cette étude.

Il ressort de la distribution des distinctions prosodiques inter-catégorielles que les corrélats articulatoires de la structure prosodique répondent de manière plus nette à une séparation franche entre les niveaux prosodiques extrêmes de la hiérarchie (tableau IV.1.1, colonne de gauche, en gras).

En effet, la catégorie des intonations conclusives se distingue statistiquement des catégories inférieures accentuelles et inaccentuées dans 87 à 95 % des mesures articulatoires. De même, la catégorie des intonations continuatives se différencie de ces mêmes catégories dans 77 à 95 % des cas.

Bien que la différence avec la catégorie des accents soit moins marquée pour les intonations continuatives que pour les intonations conclusives, dans les mesures articulatoires, les cas d'inversion hiérarchique entre ICT et ACC sont très rares (3 %) et jamais statistiquement significatifs (tableau IV.1.1, colonne de droite, en gras).

**Tableau IV.1.1** – Pourcentages des distinctions inter-catégorielles, statistiquement significatives, et des cas d'inversion par rapport à la hiérarchie prosodique de référence, sur le nombre total de mesures étudiées, tous groupes confondus. *Entre parenthèses, le pourcentage des inversions statistiquement significatives ( $p = 0,05$ ). Le pourcentage absolu (arrondi) est quasi identique au nombre de cas, puisque nous avons 102 mesures (hiérarchies articulatoires)*

	distinctions significatives	inversions
ICC ? ICT	43	42 (9)
? ACC	<b>87</b>	
? INA	<b>95</b>	
ICT ? ACC	<b>77</b>	<b>3 (0)</b>
? INA	<b>95</b>	
ACC ? INA	52	<b>7 (1)</b>

Cela indique que si ces deux catégories sont parfois confondues par des marques articulatoires de magnitude équivalente, ce marquage est toujours plus important pour les intonations continuatives que pour les accents, quand ces deux niveaux sont catégoriellement séparés. L'amplitude des corrélats articulatoires suit donc de manière très contrainte le sens de variation imposé par la hiérarchie prosodique entre niveau intonatif et niveaux inférieurs, accentués et inaccentués confondus.

La seconde distinction catégorielle la plus marquée concerne la séparation hiérarchique entre catégorie accentuée et catégorie inaccentuée. Bien qu'elle soit nettement plus faible que la précédente, seul 52 % des mesures y répondent, les cas significatifs d'inversion hiérarchique y sont également rares, ne représentant que 7 % des cas observés.

Cela indique, encore ici, que quand ces deux catégories sont articulatoirement distinguées leur position hiérarchique répond strictement à celle de la hiérarchie prosodique.

Nous avons vu, lors de l'analyse de la correspondance entre la hiérarchie prosodique en catégories étroites avec celle en catégories larges que, pour les catégories INA et ACC (cf. §III.1:3.2.2), il existait un certain flottement positionnel des catégories étroites en fonction de leur appartenance à la catégorie large (INA : syllabe interne de mot, SY, ou finale de mot, MO, et, ACC : syllabe accentuée finale de mot interne de syntagme, AM, et syllabe accentuée finale de syntagme, AS). Les résultats concernant les distinctions entre les catégories larges INA et ACC répercuteraient peut-être en partie une séparation moins stable ou importante entre syllabes finales de mot non accentuées et syllabes accentuées internes de syntagme.

Enfin, la dernière distinction entre les deux niveaux intonatifs est la moins nette de toutes. Il apparaît que dans presque 60 % des mesures effectuées, continuation et conclusion ne se différencient pas statistiquement par l'amplitude des marques articulatoires. De plus, plus de 40 % des mesures montrent une inversion hiérarchique entre ICT et ICC, significative dans près de 10 % des cas. Cette différenciation prosodique apparaît donc comme la plus faible.

Alors que dans le cas de INA et ACC, la distinction peut sembler aléatoire<sup>49</sup>, ne fonctionnant qu'une fois sur deux, celle entre intonation continuative et conclusive se comporte plutôt comme une distinction qui parfois est exprimée par des marques articulatoires, mais dont l'amplitude de variation n'est pas soumise réellement à la hiérarchie prosodique des constituants intonatifs.

Là encore, l'analyse de la correspondance hiérarchique entre catégories étroites et catégories larges (ICC : TN+TM et ICT : CM+CT) a montré que les catégorisations larges ne sont pas très homogènes. Il est apparu notamment que les catégories étroites composant respectivement ICC et ICT occupaient plus fréquemment des places hiérarchiques non contiguës dans les hiérarchies articulatoires.

Ces faits inspirent que la séparation entre niveaux intonatifs conclusifs et continuatifs n'est pas réellement exploitée de manière fréquente et régulière dans l'expression des co-variations articulatoires

<sup>49</sup> Si l'on ne considère pas l'occurrence des cas d'inversion hiérarchique.

concomitantes à la structuration prosodiques de l'énoncé.

## 1.2. Le nombre de niveaux hiérarchiques

L'examen de la fréquence du nombre des niveaux hiérarchiques prosodiques distingués par les variations articulatoires observées dans cette étude (tableau IV.1.2) renforce cette différence dans le poids des distinctions prosodiques inter-catégorielles croissant selon l'ordre suivant : continuatif vs conclusif < inaccentué vs accentué < non intonatif vs intonatif.

De manière générale, il ressort que plus de la moitié (56 %) des variations articulatoires observées répondent à une hiérarchie à trois niveaux prosodiques, indiquant que majoritairement une distinction inter-catégorielle n'est pas opérée.

Si l'on considère les occurrences d'apparition de la hiérarchie à quatre niveaux, il apparaît que dans près de 90 % les marques articulatoires se limitent à une variation d'amplitude selon deux à trois niveaux prosodiques graduels.

**Tableau IV.1.2** – Pourcentages du nombre de hiérarchies articulatoires à 2, 3 et 4 niveaux distingués statistiquement et de celles répondant plus strictement à la hiérarchie prosodique attendue, sur les 102 mesures (% absolu) et sur le nombre des mesures présentant ce nombre de niveaux (% relatif). L'ordre des catégories non distinguées, et donc appartenant au même niveau hiérarchique, n'est pas pris en compte. Le pourcentage absolu (arrondi) est quasi identique au nombre de cas, puisque nous avons 102 mesures (hiérarchies articulatoires)

hiérarchies prosodiques	% absolu	% relatif
4 niveaux	13	-
<i>HP4</i> : INA < ACC < ICT < ICC	10	77
3 niveaux	56	-
<i>HP3a</i> : INA < ACC < ICT-ICC	21	38
<i>HP3b</i> : INA-ACC < ICT < ICC	10	18
2 niveaux	33	-
<i>HP2a</i> : INA < ACC-ICT-ICC	4	12
<i>HP2b</i> : INA-ACC < ICT-ICC	20	61
<i>HP2c</i> : INA-ACC-ICT < ICC	1	3
Pourcentage total des hiérarchies ci-dessus	66	

Si l'on restreint notre analyse à l'étude des cas où les mesures articulatoires retenues par la procédure montrent une correspondance parallèle et stricte avec la hiérarchie prosodique de référence proposée dans cette étude, les résultats montrent que 66 % d'entre elles s'y conforment. Elle paraît donc justifiée en grande partie pour appréhender les phénomènes de co-variations articulatoires de la structure prosodique.

En effet, 77 % des hiérarchies articulatoires à 4 niveaux, 56 % à 3 et 76 % à 2 correspondent aux différentes hiérarchies possibles répondant à notre catégorisation prosodique large.

Ces deux tiers des mesures, répondant à la hiérarchisation prosodique attendue, confortent largement les différences dans les distinctions inter-catégorielles, opérées articulatoirement, dégagées ci-dessus.

En effet, il apparaît que les plus fréquentes sont celles composées de 2 ou 3 niveaux hiérarchiques, c'est à dire celles ne rendant pas compte d'une différenciation des deux niveaux intonatifs, conclusif et continuatif (*HP2b* et *HP3a*, tableau IV.1.2).

Ainsi, les deux hiérarchies suivantes : celle à deux niveaux (*HP2b*), INA-ACC < ICT-ICC, et celle à trois niveaux (*HP3a*), INA < ACC < ICT-ICC, expliquent 41 % des phénomènes articulatoires observés.

Elles représentent respectivement 61 et 38 % des hiérarchies composées de 2 ou 3 niveaux.

S'agissant de la distinction des niveaux accentué et inaccentué, il apparaît qu'elle est réalisée dans 35 % des phénomènes articulatoires observés<sup>50</sup>. Cette distinction concerne respectivement 12, 38 et 77 % des hiérarchies articulatoires à 2, 3 et 4 niveaux prosodiques.

Par contre, la différenciation entre les catégories intonatives, continuative et conclusive, est moins efficiente. Elle apparaît dans 20 % des hiérarchies articulatoires et ne représente respectivement plus que 3, 18 et 77 % des hiérarchies à 2, 3 et 4 niveaux prosodiques.

Ce point montre que plus le nombre de niveaux prosodiques différenciés par l'articulation segmentale augmente, plus la distinction entre syllabe accentuée et syllabe inaccentuée est privilégiée au regard de celle entre intonation conclusive et intonation continuative.

Le poids du contraste accentuel est plus important dans les manifestations articulatoires concomitantes à la structure prosodique que celui de la complétude intonative.

En outre, quand 4 niveaux prosodiques hiérarchiques sont accompagnés par des marques articulatoires graduelles, la hiérarchie proposée (*HP4*, tableau IV.1.2), INA < ACC < ICT < ICC, représente 77% des hiérarchies articulatoires à 4 niveaux.

Pour les phénomènes articulatoires les plus sensibles à la hiérarchie prosodique, l'intonation de conclusion tend à être marquée par des traits articulatoires renforcés par rapport à une intonation continuative.

Reste que ces cas sont rares puisqu'ils ne représentent que 10 % des phénomènes retenus, et que 15 % des hiérarchies articulatoires répondant plus strictement à la hiérarchie prosodique que nous avons proposée pour cette étude.

### 1.3. Trois distinctions de poids différent

En définitive, les co-variations articulatoires liées à la structure prosodique répondent à trois types de distinctions hiérarchiques catégorielles. Ces trois types de distinction correspondent au poids des frontières prosodiques inter-segmentales.

La fréquence des distinctions prosodiques inter-catégorielles opérées par un marquage articulatoire supraglottique permet d'établir que celles-ci n'ont pas le même poids. Certaines distinctions sont plus marquées, c'est-à-dire fréquentes, au regard d'un renforcement articulatoire temporel ou spatial.

Ainsi, trois niveaux de contraste prosodique semblent avoir un poids décroissant dans l'expression articulatoire de la structure hiérarchique prosodique.

Le premier contraste, le plus fort, rend compte d'une distinction majeure entre frontière intonative (conclusive ou continuative) et frontière non intonative (c'est-à-dire accentuelle, lexicale ou syllabique).

Les frontières intonatives sont accompagnées de variations plus extrêmes des segments contigus que les démarcations non intonatives.

Dans notre corpus, 52 % des phénomènes articulatoires, répondant minimalement à la hiérarchie prosodique, opèrent une distinction entre, d'une part, intonation conclusive et continuative, et, d'autre part, entre accent et syllabe inaccentuée.

Cette distinction représente également 93 % des variations articulatoires répondant strictement à la hiérarchie prosodique proposée dans cette étude (tableau IV.1.2, *HP4+HP3ab+HP2b*).

A un niveau de contraste moindre, du point de vue de l'expression des co-variations articulatoires, se trouve la distinction entre frontière accentuelle (c'est-à-dire accent final de mot et accent final de syntagme) et frontière non prosodique.

Les syllabes accentuées rendent compte d'un marquage articulatoire plus ample que les syllabes inaccentuées, mais moins fréquent et moins prononcé que les syllabes contiguës à une frontière

---

<sup>50</sup> Dans l'ordre hiérarchique attendue, c'est-à-dire cas d'inversion exclus.

intonative.

Dans notre corpus, 34 % des phénomènes articulatoires, corrélatifs à la hiérarchie prosodique, effectuent de manière catégorielle cette différenciation hiérarchique.

En outre, celle-ci représente 51 % des phénomènes co-variant parallèlement à la hiérarchie prosodique proposée dans cette étude (tableau IV.1.2, *HP4+HP3a+HP2b*).

Enfin, le niveau de contraste prosodique le plus faible opéré par l'articulation supraglottique concerne la distinction entre frontière intonative conclusive et frontière intonative continuative.

Les syllabes finales de constituants terminaux rendent compte plus souvent de corrélats articulatoires plus extrêmes que celles de constituants non terminaux.

Reste que ce contraste prosodique hiérarchique est exprimé beaucoup moins fréquemment que celui des deux distinctions précédentes. La distinction conclusif *vs* continuatif n'est présentée que pour 21 % des phénomènes articulatoires retenus et 31 % de ceux répondant étroitement à la hiérarchie étudiée (tableau IV.1.2, *HP4+HP3b+HP2c*).

Ainsi, dans cette étude trois niveaux de contraste prosodique hiérarchique permettent de rendre compte des co-variations articulatoires et co-articulatoires sensibles et renforcées graduellement selon la structure hiérarchique de l'énoncé.

Ces trois niveaux de contrastes n'ont pas le même poids et répondent à trois niveaux croissants de distinction prosodique hiérarchique :

- (1) majeure : frontière intonative *vs* frontière non intonative, la plus fréquente et la plus marquée articulatoirement (INA-ACC < ICT-ICC) ;
- (2) mineure : frontière accentuelle *vs* frontière lexicale ou syllabique, moins fréquente et moins prononcée articulatoirement (INA < ACC) ;
- (3) occasionnelle : frontière intonative conclusive *vs* frontière intonative continuative, plus rare et dont la relation hiérarchique est moins stable (ICT < ICC).

## 2

### ***Des distinctions identiques à celles observées dans les autres études***

Bien qu'un certain nombre d'études abordent de façon spécifique les co-variations articulatoires en fonction de hiérarchies prosodiques de niveaux multiples, c'est-à-dire supérieurs à 2 (Jun 1993, Gordon 1996, Dilley et al. 1996, Hsu & Jun 1997, Fougeron & Keating 1997, Cho 1998 ; cf. §I.2:2.3), leur comparaison avec nos résultats, concernant les distinctions prosodiques observées, est très difficile.

Cette difficulté tient à trois raisons essentielles. La détermination des niveaux prosodiques étudiés et leur nombre sont différents selon les études. Les langues considérées sont très différentes, ne permettant pas d'être toujours assuré des correspondances exactes entre les niveaux étudiés et de leur équivalence avec ceux de notre étude. Les phénomènes articulatoires observés sont très variés et leur nombre est relativement restreint.

#### **2.1. Une comparaison avec l'étude de Fougeron (1998)**

Dès lors, nous avons comparé systématiquement nos résultats avec la seule étude portant sur le français et sur la même problématique générale : Fougeron (1998).

Cette étude permet la comparaison, car elle offre un grand nombre de variations supraglottiques répondant à une hiérarchie articulatoire relativement proche. Elle porte essentiellement sur le marquage articulatoire en début de constituant prosodique permettant de distinguer catégoriellement les constituants occupant une position croissante dans la hiérarchie prosodique selon 2 à 5 niveaux de renforcement supraglottique.

Les 5 niveaux de frontières de cette étude reposent sur la détermination prosodique suivante (du niveau le plus bas au plus élevé :  $S < M < GA < GI < P$ ) :

- (1) frontière de syllabe interne de mot (S) : sans marque prosodique (inaccentué), interne de mot (ex. : « *Tonton et Anabelle arriveront demain.* ») ;
- (2) frontière de mot lexical (M) : sans marque prosodique (inaccentué), mot composé (ex. : « *Paul et Tata-Nadia arriveront demain.* »)<sup>51</sup> ;
- (3) frontière de groupe accentuel (GA) : accent final de syntagme, intonation de continuation mineure, montée mélodique, allongement moyen, sans pause (ex. : « *Tonton, tata, Nadia et Paul arriveront demain.* ») ;
- (4) frontière de groupe intonatif (GI) : non conclusif, descente mélodique ou montée de continuation majeure, allongement important, pause (ex. : « *La pauvre tata, Nadia et Paul n'arriveront que demain.* ») ;
- (5) frontière de phrase (P) : intonation majeure conclusive, descente mélodique, allongement important, pause (ex. : « *Paul aime tata. Nadia les protège en secret.* »).

Les niveaux les plus bas (n°1 et n°2) correspondent exactement aux catégories étroites composant notre catégorie large des syllabes inaccentuées (INA).

Les différences concernent les autres niveaux essentiellement par le fait que nous étudions des niveaux composites, chacune de nos catégories étant composée d'une catégorie que l'on peut qualifier de « majeure » et d'une « mineure ».

Ainsi, l'intonation de conclusion (ICC), correspondant à la Phrase (P) chez Fougeron est composée chez nous par la conclusive majeure finale de rhème (TM) et par la mineure finale de thème post-posé (TN).

De même l'intonation de continuation (ICT), représentée par le Groupe Intonatif (GI) chez Fougeron, est composée ici par l'intonation dominante de topique antéposé (CT) et par celle de continuation finale de groupe nominal sujet (CM).

Egalement, la catégorie accentuelle (ACC), équivalant au Groupe Accentuel (GA) chez Fougeron, est composée dans notre étude par l'accent final de syntagme (ou intonation mineure, AS) et de l'accent final de mot et interne de syntagme (accent rythmique, AM)<sup>52</sup>.

Les potentialités de distinctions de nos catégories sont donc intrinsèquement moins grandes que celles de Fougeron, composées exclusivement des éléments majeurs de nos catégories.

Deux autres différences apparaissent également. La première est relative au fait que notre niveau le plus haut (ICC) répond à la modalité interrogative, et est donc marqué par un contour mélodique montant, alors que le niveau correspondant chez Fougeron (P) est marqué par un contour descendant terminal. De même, notre catégorie ICT est réalisée par un contour montant, alors le niveau GI de Fougeron est généralement produit par un contour descendant et moins fréquemment par une mélodie montante.

En dehors de ces différences, les deux hiérarchies sont relativement comparables. Nous avons regroupé les niveaux les plus bas (syllabique et lexical) de la hiérarchie de Fougeron dans la même catégorie S-M pour obtenir un nombre de niveaux et des catégories comparables.

Différentes marques articulatoires segmentales sont étudiées par Fougeron : l'amplitude et la durée de la constriction linguopalatale (EPG) des consonnes /t, n, k, s, l/ et de la voyelle /i/, la glottalisation de celle-ci et ses variations formantiques, et les variations de durée et d'amplitude de débit d'air pour la consonne nasale /n/ ou la voyelle /ã/.

<sup>51</sup> Présentant cependant parfois un accent initial rythmique.

<sup>52</sup> Cette catégorie est probablement la plus différente entre les deux études. Dans le corpus de Fougeron, le Groupe Accentuel est marqué par une intonation de liste. Cette marque prosodique est plus importante que celle qui définit notre niveau accentuel.

## 2.2. Les distinctions prosodiques inter-catégorielles

Fougeron fournit dans trois tableaux récapitulatifs les résultats relatifs au type de hiérarchies articulatoires obtenues et au pourcentage de distinctions prosodiques catégorielles réalisées sur 44 mesures articulatoires les plus sensibles.

A partir de ces tableaux (Fougeron 1998, tableaux VI.1, VI.2 et VI.5, reproduits en Annexe 4), nous avons recalculé la fréquence des distinctions prosodiques opérées par les variations articulatoires qu'elle observe. La comparaison des occurrences (en %) de ces différenciations avec les nôtres (tableau IV.1.2) est présentée dans le tableau IV.1.3.

**Tableau IV.1.3** – Comparaison des fréquences des distinctions prosodiques inter-catégorielles et des cas d'inversion hiérarchique statistiquement significatives en fonction des variations articulatoires observées dans notre étude et dans celle de Fougeron (1998)

niveaux prosodiques	distinctions significatives		inversions significatives	
	notre étude	Fougeron	notre étude	Fougeron
P / ICC ? GI / ICT	43	20	9	10
? GA / ACC	87	90	-	-
? S-M / INA	95	100	-	-
GI / ICT ? GA / ACC	77	68	0	3
? S-M / INA	95	86	-	-
GA / ACC ? S-M / INA	52	45	1	?

Les résultats de cette comparaison manifestent des fréquences tout à fait similaires dans les deux études, confirmant que les phénomènes de co-variation articulatoire en fonction du niveau hiérarchique de la frontière prosodique répondent

- (1) d'abord, à une distinction majeure des frontières intonatives (continuative ou conclusive) : entre 90 et 100 % des cas chez Fougeron (P/GI) et entre 77 et 95 % chez nous (ICC/ICT) ;
- (2) ensuite, à une différenciation moins marquée entre frontière accentuelle et frontière non prosodique (de syllabe ou de mot) : 45 % des cas pour Fougeron (GA) et 52 % pour nous (ACC) ;
- (3) enfin, à une faible discrimination entre frontière intonative conclusive et frontière intonative continuative : 20 % des cas (2/10) chez Fougeron (P) et 43 % des cas chez nous (ICC).

La faiblesse de la distinction entre continuation et conclusion est également illustrée dans les deux études par une fréquence d'inversion hiérarchique significative plus importante que pour toutes les autres distinctions (9 % chez nous ; 10 % chez Fougeron).

Il est à noter que, dans l'étude de Fougeron, seuls 2 cas (sur 10 observés) montrent une distinction entre ces deux catégories, dont un présente une inversion entre P et GI.

Cette séparation moins efficiente entre ces deux types de frontière prosodique est également observée dans l'étude de Fougeron & Keating (1997), où il apparaît que sur les 15 variations articulatoires (5 mesures\*3 locuteurs) examinées, en initial de constituant en anglais, en fonction d'une hiérarchie prosodique globalement équivalente à celle de Fougeron (1998), 5 seulement présentent une distinction significative suivant la hiérarchie attendue entre fin d'énoncé et fin de groupe intonatif majeur, dont 2 montrent une inversion hiérarchique.

Concernant la distinction majeure entre niveau intonatif et non intonatif, comme ici, Fougeron & Keating trouvent que les distinctions avec les frontières non prosodiques (S-M) sont plus fréquentes (11/15) pour la frontière de groupe intonatif et pour la frontière de groupe accentuel (9/15).

L'étude de Byrd et al. (2000), concernant le timing inter-CC selon une hiérarchie prosodique à trois niveaux de frontière (lexicale, intonative mineure et intonative majeure) montre que la dynamique intra-gestuelle des gestes post- et pré-frontaliers, et la coordination inter-gestuelle inter-frontalière

répondent, quelle que soit la mesure de timing effectuée, à la distinction catégorielle entre frontière intonative majeure et les deux niveaux prosodiques inférieurs.

Ce résultat appuie également le fait qu'un contraste plus marqué, fréquent et prononcé, accompagne principalement les frontières intonatives de niveaux supérieurs.

### 2.3. Le nombre de niveaux hiérarchiques

Si l'on s'attache plus précisément au nombre de niveaux hiérarchiquement distingués par des co-variations supraglottiques parallèles à la structure prosodique, l'étude de Fougeron, là encore, montre des résultats très similaires aux nôtres.

En effet, cet auteur rapporte que les trois hiérarchies prosodiques les plus fréquentes comptent 2 ou 3 niveaux, correspondant aux distinctions inter-catégorielles présentées ci-dessus. Ces hiérarchies ont une fréquence d'occurrences équivalente ou très proche de leur correspondant dans notre étude.

Ainsi, selon leur ordre croissant de fréquence d'occurrences dans les phénomènes articulatoires, ces hiérarchies<sup>53</sup> sont :

- (1) 3 niveaux : S-M < GA < GI, correspondant à notre INA < ACC < ICT (*HP4+HP3a*, tableau IV.1.2). Cette hiérarchie est représentée par 33 % des phénomènes chez Fougeron et par 31 % chez nous.
- (2) 2 niveaux : S-M-GA < GI, équivalent de notre INA-ACC < ICT (*HP3b+HP2b*, tableau IV.1.2). Cette hiérarchie apparaît pour 33 % des phénomènes chez Fougeron et pour 30 % chez nous.
- (3) 2 niveaux : S-M < GA-GI, correspondant à notre INA < ACC-ICT (*HP2b*, tableau IV.1.2, plus les cas « INA < ACC-ICT = ICC », non comptabilisés dans ce tableau). Cette hiérarchie explique 26 % des variations articulatoires chez Fougeron et 11 % chez nous.

Seule la hiérarchie n°3 est plus fréquente chez Fougeron, peut être du fait de la présence de l'accent de mot interne de syntagme dans notre cas, tirant la fréquence des distinctions inter-catégorielles entre syllabes accentuées et inaccentuées vers le bas. Une autre raison possible tient au fait que notre procédure de sélection des mesures ne favorise pas l'émergence des mono-distinctions des catégories prosodiques dans notre étude (cf. §II.4:2).

En dehors de cette différence, les deux études font apparaître un marquage dominant du contraste intonatif majeur (GI/ICT) par rapport au mineur (GA/ACC).

### 2.4. Des niveaux identiques de contraste prosodique hiérarchique

Il ressort donc de cette comparaison, avec les autres études (comparables) ayant abordé cette question de la granularité prosodique des variations supra-laryngées concomitantes à la hiérarchie des constituants prosodiques, que nos résultats sont largement similaires.

Néanmoins, Fougeron (1998) rapporte des effets exclusivement relatifs à la syllabe initiale de constituant prosodique. Or, pour cette position notre étude n'a pas permis de reproduire ses résultats dans cette position syntagmatique.

Des raisons méthodologiques ou relatives aux variations contextuelles segmentales et inter-individuelles, dont nous parlerons plus loin, sont peut-être à l'origine de l'absence de tels corrélats dans notre étude. En effet, un nombre important de travaux portant sur cette question et sur cette position confortent les résultats de Fougeron.

Reste que, en dehors de ce point d'achoppement, les deux études montrent que des niveaux prosodiques de contraste hiérarchique de poids différent sont systématiquement observés au regard des variations articulatoires.

En termes de fréquence et de renforcement articulatoire (durée, délai temporel ou amplitude des gestes), le contraste opéré par l'intonation est plus prononcé que le contraste accentuel. A un niveau de

<sup>53</sup> Comptage réalisé seulement sur 30 phénomènes articulatoires.



contraste encore plus faible se trouve l'effet du type intonatif : continuation *vs* conclusion.

La granularité des phénomènes articulatoires sensibles à la structure prosodique non renseigne donc sur la nature des distinctions entre les différents niveaux de la hiérarchie et sur les unités prosodiques organisant l'énoncé et la parole.

### 3

#### ***Qu'est-ce que nous apprennent les co-variations articulatoires sur les unités prosodiques d'organisation structurelle et hiérarchique de la parole ?***

La fréquence des distinctions prosodiques répercutées articulatoirement informe sur le statut hiérarchique des unités prosodiques organisationnelles de l'énoncé et sur le poids des traits prosodiques qui les spécifient.

#### **3.1. Les relations hiérarchiques entre intonation conclusive et continuative**

La faiblesse de la distinction entre groupe intonatif conclusif et groupe intonatif continuatif validerait le fait que ces deux niveaux n'ont pas réellement de relation hiérarchique du point de vue de la structuration prosodique de l'énoncé.

Les regroupements marqués par l'intonation conclusive ne correspondent pas exactement à l'unité « *Énoncé* », la plus haute de la hiérarchie prosodique, dans le modèle phono-morpho-syntaxique de Nespor & Vogel (1986)<sup>54</sup>. Dans ce modèle, la frontière d'Énoncé est définie par une rupture des relations syntaxiques et sémantiques entre les « phrases ». Or, dans notre cas, comme dans celui de Fougeron (1998), les groupes intonatifs conclusifs majeurs, ou phrases, ont un lien sémantico-syntaxique étroit.

Reste que les traits prosodiques qui spécifient ces deux types d'unité sont similaires. Il apparaîtrait ainsi que les co-variations articulatoires ne corroborent que rarement la discrimination hiérarchique de fin de phrase, ou d'énoncé. Intonation continuative et intonation conclusive opèreraient donc à un même niveau d'organisation prosodique.

Ce point de vue est celui des théories prosodiques reposant sur une détermination purement suprasegmentale des unités et des niveaux structurels hiérarchiques de la parole (Hirst & Di Cristo 1984, 1998, ou Jun & Fougeron 1995, 2000, par exemple, pour le français).

Dans ces modèles, unités intonatives conclusives (ou terminales) et unités continuatives (ou non terminales) ne se distinguent pas par un niveau hiérarchique différent dans la représentation de la structure prosodique, mais par une distribution complémentaire des tons de frontière selon un facteur positionnel. Seule la dernière unité intonative finale de phrase ou d'énoncé peut être marquée par un ton de frontière conclusif (bas pour les assertions et haut pour les interrogatives).

Le fait que les co-variations articulatoires ne sont que rarement expliquées par la distinction entre ces deux types de frontière prosodique, nous indique peut être la dominance des informations structurelles par rapport aux informations strictement sémantiques.

En effet, dans notre étude intonation conclusive et continuative ne se distinguent pas seulement du point de vue positionnel ou formel, mais également d'un point de vue sémantique du fait que les intonations conclusives sont interrogatives et que les continuatives sont assertives.

Or, il apparaît que la modalité n'a pas de réelle incidence sur la fréquence des distinctions de ces catégories au regard des co-variations articulatoires sensibles au contexte prosodique.

Cette distinction entre interrogation et assertion est également reliée à la question des traits prosodiques qui déterminent les différents niveaux prosodiques hiérarchiques.

<sup>54</sup> Cette unité est absente du modèle de Selkirk (1984).

### 3.2. Les traits suprasegmentaux et les distinctions prosodiques supraglottiques

Les travaux de Beckman et ses collègues sur le marquage articulatoire des proéminences accentuelles en anglais (Beckman et al. 1994, Beckman & Cohen 1999, entre autres) montrent que l'importance du contraste articulatoire concomitant n'est pas directement reliée au niveau hiérarchique prosodique des unités différenciées.

En effet, ces auteurs montrent que le contraste articulatoire opéré par l'accent lexical (tête de pied métrique) est beaucoup plus important que celui effectué par l'accent nucléaire d'un niveau hiérarchique supérieur (tête de constituant intonatif). Reste que le contraste lexical repose sur une spécification segmentale de la qualité du noyau vocalique de la syllabe, alors que celui relatif à l'accent nucléaire est spécifié suprasegmentalement en terme de contour mélodique.

La nature des traits spécifiant les proéminence prosodiques peut donc avoir une grande influence sur les co-variations articulatoires, même si l'amplitude de variation, prosodique comme articulatoire, est toujours plus importante pour les faits d'accentuation nucléaire que d'accentuation lexicale, respectant en cela la hiérarchie des proéminences.

Si l'on s'attache plus spécifiquement aux contrastes accentuels reposant sur une spécification suprasegmentale des traits prosodiques déterminant les différents niveaux hiérarchiques, il ressort de nos résultats, mais également de ceux de Fougeron que le degré d'allongement semble pouvoir expliquer le fait que certaines distinctions sont plus fréquentes et plus prononcées du point de vue des marques articulatoires qui peuvent les accompagner. Cette supposition est appuyée par trois arguments.

Tout d'abord, elle repose sur le fait que les intonations interrogatives ne se distinguent pas nettement des intonations non interrogatives, alors qu'elles sont marquées par une excursion de la F0 bien plus extrême, comme l'analyse prosodique l'a montrée (cf. §II.2:2.2).

Cette distinction ne tient pas au fait que nos catégories intonatives larges sont composites, étant constituées par deux types d'unités intonatives : des « mineures » (TN et CM) déterminées par une hauteur plus réduite que les « majeures » (TM et CT) spécifiées par une excursion mélodique plus extrême. En effet, dans l'analyse prosodique, nous avons vu que l'intonation de topique (CT) n'était pas produite, par nos locuteurs, par une montée mélodique normalement comparable au niveau atteint par l'intonation interrogative majeure (TM), mais par une hauteur tonale significativement inférieure à celle de l'intonème interrogatif mineur (TN).

Ainsi, le fait que les intonations conclusives (interrogatives, TN et TM) ont une hauteur tonale significativement bien plus élevée que les interrogations continuatives (CM et CT) ne permet pas d'expliquer leur fréquence basse de distinction catégorielle hiérarchique selon les corrélats articulatoires supraglottiques.

D'autre part, il apparaît que la distinction majeure entre frontières intonatives et non intonatives (accentuelles ou inaccentuées), reposant sur les co-variations articulatoires, puisse mieux s'établir en fonction de la magnitude de l'allongement final du constituant. L'allongement est décrit comme le trait suprasegmental essentiel des démarcations de frontière (Rossi 1999, Di Cristo 1999, 2000a).

L'analyse prosodique a montré que toutes les catégories intonatives étroites (CM, CT, TN et TM) composant les catégories larges (ICT et ICC) sont caractérisées par un degré d'allongement vocalique bien supérieur à celui des catégories accentuées ou inaccentuées, pour tous nos locuteurs<sup>55</sup>, ce qui n'est pas le cas au niveau tonal. La distinction hiérarchique majeure entre ces niveaux prosodiques, et observée pour les variations articulatoires, semble donc reposer sur le trait particulier d'allongement vocalique.

De plus, la rareté des différenciations hiérarchiques entre les deux niveaux intonatifs semble pouvoir également être expliquée par cette spécification temporelle. En effet, comme on l'a vu, les niveaux intonatifs conclusifs et continuatifs sont constitués par des intonèmes mineurs et majeurs. Les majeurs présentent toujours en moyenne un allongement final plus important pour tous nos locuteurs. Il se

<sup>55</sup> Excepté pour TN chez locM.

peut dès lors que le moyennage entre les valeurs d'allongement des catégories mineures et majeures pour la constitution des catégories larges correspondantes soit à l'origine de cette faiblesse de différenciation hiérarchique entre les niveaux intonatifs, tels qu'ils ont été déterminés ici.

Pour tester cette hypothèse, il faudrait recourir à un autre type de catégorisation large, reposant sur un regroupement des intonèmes majeurs (CT et TM) et des intonèmes mineurs (CM et TN). On pourrait alors s'attendre à ce que la distinction entre ces deux nouveaux niveaux hiérarchiques intonatifs, basée sur le degré d'allongement final, permette une distinction plus nette au regard des phénomènes de co-variation articulatoire.

Enfin, la constatation d'une différenciation moins fréquente et moins prononcée entre niveau accentuel et niveau inaccentué pourrait aussi appuyer en partie cette supposition.

En effet, le trait suprasegmental principal de l'accent, même s'il peut également s'exprimer par des variations de durée, est la variation mélodique montante. L'allongement participerait donc moins à cette distinction. Cela pourrait expliquer une différenciation moins franche à ce niveau de contraste qu'au niveau inférieur, au regard de l'articulation supraglottique.

L'analyse prosodique montre, néanmoins, que les catégories étroites accentuées (AM et AS) ne sont pas mieux distinguées des catégories inaccentuées (SY et MO) par le trait d'allongement que par celui de hauteur tonale. Par contre, le glissando tonal s'établissant sur la voyelle finale permet de différencier clairement ces catégories prosodiques.

Cela indiquerait que la combinaison des traits suprasegmentaux temporel et tonal pourrait peut-être mieux expliquer les phénomènes articulatoires observés à ce niveau prosodique de contraste hiérarchique.

Reste que, ce trait suprasegmental spatio-temporel (glissando mélodique) est celui sur lequel toutes les autres différenciations des catégories larges ou étroites sont les mieux établies. Il n'est donc pas restreint à la distinction entre syllabe accentuée et syllabe inaccentuée, pour laquelle d'ailleurs le glissando réalisé sur la voyelle est toute même très faible et n'est très probablement pas réellement distinctif perceptivement (pouvant être interprété comme un ton statique).

L'hypothèse d'une prédominance du trait d'allongement, permettant d'expliquer le poids différent des distinctions prosodiques inter-catégorielles opérées par une co-variation articulatoire, est d'autant plus envisageable que l'analyse des phénomènes articulatoires sensibles à la hiérarchie des unités prosodiques montre que les variations observées reposent essentiellement sur des modifications temporelles, intra- ou inter-segmentales des gestes articulatoires, et très rarement sur des changements spatiaux relatifs à l'amplitude du geste ou au déplacement de son lieu d'articulation.

En conclusion, il apparaît que les co-variations articulatoires concomitantes à la hiérarchie prosodique rendent compte, selon l'amplitude et la fréquence d'occurrence, de distinctions hiérarchiques de poids différent entre unités prosodiques. Selon le poids croissant des contrastes hiérarchiques, les distinctions suivantes apparaissent :

- (1) unité intonative > unité non intonative
- (2) unité accentuée > unité inaccentuée
- (3) unité intonative terminale > unité intonative non terminale

Ces différents degrés de distinction des frontières prosodiques sont corroborés par les autres études portant sur les corrélats suprasegmentaux de la hiérarchie prosodique et semblent reposer sur la prévalence de l'allongement final.

## Chapitre 2

### ***Le noyau inter-individuel des co-variations articulatoires de la structure prosodique***

Dans ce dernier chapitre, nous faisons la synthèse des principales co-variations supra-glottiques répondant de manière assez étroite à la hiérarchie prosodique selon le type de groupes de consonnes, la position syntagmatique concernée dans la séquence VC#CV et le type de mesures articulatoires effectuées.

Le croisement de ces trois informations fournit une image générale de la nature des corrélats articulatoires de la structure hiérarchique prosodique qui correspondent à un comportement inter-individuel (c'est-à-dire pour au moins deux locuteurs sur trois).

Nous ne nous attachons qu'aux résultats reposant sur un comportement inter-individuel régulier, les aspects plus complémentaires ayant déjà été discutés localement dans les différents chapitres présentant les résultats.

Ces régularités articulatoires peuvent donc être vues dans une certaine mesure, c'est-à-dire pour les articulations considérées ici et dans les limites expérimentales inhérentes à cette étude (méthode, instrumentation, contexte phonotactique...), comme le cœur stable et relativement systématique des relations entre (co)articulation et la structure prosodique de l'énoncé organisée selon une hiérarchie de constituants de différents niveaux.

Afin de définir ce noyau dur de l'interaction entre articulation linguopalatale et structure prosodique, nous tentons de répondre à trois questions essentielles :

- (1) Quels sont les lieux, ou domaines syntagmatiques privilégiés pour un renforcement articulatoire répondant à la hiérarchie prosodique ?
- (2) Quelle est la nature de ce renforcement selon la dimension articulatoire (temporelle, spatiale et/ou spatio-temporelle) et les mécanismes sur lesquels il repose ?
- (3) Quelle régularité et systématité d'occurrence caractérisent ces phénomènes ?

## 1

### ***Domaines privilégiés et nature des co-variations articulatoires***

Dans cette partie, nous rendons compte des positions syntagmatiques dans la séquence VC#CV qui sont plus systématiquement affectées par le poids de la frontière prosodique médiane.

Le tableau IV.2.1 récapitule le nombre et le pourcentage de mesures articulatoires montrant une adéquation étroite avec la hiérarchie prosodique attendue pour chacune des positions segmentales ou inter-segmentales analysées.

De manière générale, relativement peu de mesures articulatoires ressortent comparées au nombre total de mesures effectuées par position. Globalement, seul 9 % des mesures traduisent un phénomène variant de manière parallèle avec la hiérarchie prosodique selon les distinctions majeures présentées dans le chapitre précédent.

Cela indique que les phénomènes observés sont très ténus et qu'ils sont très soumis à la variation individuelle, aléatoire ou contextuelle, autre que prosodique.

En termes de positions syntagmatiques, il apparaît que les séquences inter-segmentales sont plus affectées que les segments individuellement.

Pour les segments, seule la voyelle finale est réellement concernée, du fait que c'est principalement sur elle que s'établit le contour mélodique et l'allongement qui marquent les différents niveaux de frontière prosodique, accentuels ou intonatifs.

La voyelle finale (accentuée) est donc, comme attendu, l'élément de la séquence qui rend compte des variations articulatoires les plus marquées en fonction du niveau hiérarchique de la frontière prosodique (cf. §III.2:1.1.1).

Les consonnes, tant finales qu'initiales, et la voyelle initiale ne montrent pas d'effet régulier et systématique de la hiérarchie prosodique. Ces points sont débattus plus ultérieurement.

**Tableau IV.2.1** – Nombre et pourcentage des mesures, en fonction du lieu syntagmatique observé dans la séquence VC#CV, répondant de manière étroite aux principales distinctions hiérarchiques attendues (c'est-à-dire aux hiérarchies prosodiques présentées dans le tableau IV.1.2), et nombre total de mesures effectuées pour la position considérée ( $n$  mesures \* 4 groupes de consonnes)

position	séquence	nombre total de mesures	nb	%
voyelle finale	V1	16	7	<b>44</b>
consonne finale	C1	72	0	0
consonne initiale	C2	72	1	1
voyelle initiale	V2	16	1	6
rime	V1C1#	112	15	<b>14</b>
trans-frontalière	V1#C2	108	23	<b>21</b>
trans-frontalière	C1#C2	96	9	<b>9</b>
trans-frontalière	C1#V2	108	10	<b>19</b>
syllabe initiale	#C2V2	112	0	0
	<i>total</i>	<i>712</i>	<i>66</i>	<i>9</i>

Pour les séquences inter-segmentales, toutes, hormis la syllabe initiale post-frontalière, montrent un certain nombre de variations articulatoires. Entre 9 et 21 % des mesures sont soumises étroitement à la hiérarchie prosodique.

Cette différence entre lieux segmentaux et inter-segmentaux indique que des variations articulatoires engendrées par la structure prosodique reposent sur des modifications de timing inter-gestuel (Browman & Goldstein 1989).

Ces modifications concernent majoritairement la coordination temporelle entre la voyelle finale accentuée et les consonnes pré- ou post-frontalières (35 % des mesures), et, dans une moindre mesure la coproduction dans l'enchaînement inter-consonantique trans-frontalier et les relations de timing entre la consonne finale et la voyelle initiale séparées par la frontière prosodique (28 %).

Conjointement, ces modifications articulatoires en frontière prosodique de niveau croissant semblent rattachées à trois caractéristiques essentielles, qui ne sont pas toujours en accord avec les résultats obtenus sur ce sujet par les études antérieures.

Ainsi, dans notre étude, il apparaît que

- (1) la rime (V1C1#) est marquée graduellement en fonction du niveau hiérarchique croissant de la frontière finale par une plus grande cohésion articulatoire entre la voyelle et la consonne codâique, et que la rupture avec la syllabe initiale post-frontalière est plus prononcée ;
- (2) la coproduction inter-consonantique (C1#C2) est réduite de manière croissante selon la hiérarchie des frontières prosodiques, ce phénomène étant cependant largement fonction de la nature du groupe de consonnes trans-frontalier ;
- (3) nous n'avons pas mis en évidence de marquage articulatoire systématique inter-individuellement de la syllabe initiale de constituant prosodique (#C2V2) selon un niveau hiérarchiquement croissant ;
- (4) les modifications articulatoires sont quasi toutes de nature temporelle, les changements concernant la dimension spatiale des gestes étant largement sous-représentés.

## **1.1. Une démarcation frontalière croissante marquée par une cohésion rimique et une rupture trans-frontalière renforcées**

L'articulation de la rime de la syllabe finale pré-frontalière est graduellement affectée par le poids hiérarchique de la frontière prosodique subséquente. Ces modifications articulatoires concernent principalement la voyelle, le timing articulatoire entre le noyau vocalique (V1) et la consonne codaïque (C1) et entre la consonne codaïque et la consonne (C2) ou la voyelle initiale post-frontalière (V2).

Les résultats concernant les relations temporelles entre la voyelle finale et la consonne initiale (V1#C2) étant ambigus, nous n'y ferons pas allusion (cf. §III.2:3.2).

Un point questionnable est relatif au fait que nous observons très peu d'effet de la hiérarchie prosodique sur l'articulation de la consonne finale de constituant C1. Notamment, nos résultats ne rendent compte d'un allongement graduel significatif de cette consonne que pour /t/ de /tk/.

Cette absence relative d'allongement de la consonne finale en frontière de constituant prosodique majeur n'est pas en accord avec nombre de travaux qui montrent que l'allongement de la coda est une caractéristique des phénomènes de frontière, tant d'un point de vue acoustique (Fant et al. 1991, Campbell 1992, Berkovits 1993, Astésano 1999) qu'articulatoire (Byrd et al. 2000, par exemple).

Il est possible que la détermination des zones de segmentation des consonnes favorise une observation tardive du début et précoce de la fin du geste linguopalatal (cf. §II.3:2.1.2.a). L'éventualité d'une compensation articulatoire due à l'absence de pause en frontière prosodique majeure peut être également envisageable (cf. IV.2:1.1.3).

La voyelle, quant à elle, montre un allongement acoustique, et une durée et une amplitude d'ouverture maximale plus grandes, plus la frontière prosodique est d'un niveau hiérarchique élevé. Les résultats tendent à montrer que ces deux dimensions, temporelle et spatiale, sont en partie positivement corrélées (cf. §III.2:1.1.1.b). Ces faits étant bien connus (Lindblom 1963, par exemple), nous ne nous y attarderons pas.

### **1.1.1. Un cohésion articulatoire plus grande dans la rime**

Un des points les plus intéressants est relatif à des modifications de timing articulatoire semblant affecter la coproduction entre les éléments internes à la rime et entre la consonne codaïque et les éléments initiaux post-frontalières, plus la frontière subséquente occupe une position élevée dans la hiérarchie prosodique.

Les études de Edwards & Beckman (1988), Edwards et al. (1991), Beckman & Edwards (1992) et Beckman et al. (1992,) sur l'articulation mandibulaire de l'allongement final de la rime VC#(V), montrent que celui-ci repose essentiellement sur la durée plus longue de la fermeture VC, du fait d'une tension articulatoire réduite du geste. L'allongement final est interprété comme une spécification de ralentissement du tempo articulatoire localisé sur le geste final de groupe intonatif majeur, réalisé par une diminution de la vélocité articulatoire intra-gestuel. Les relations de phase entre V et C sont préservées, excepté en débit lent où la relation de phase inter-gestuelle peut être distendue (Beckman & Edwards 1992).

Dans notre étude, nous observons par contre une modification de la latence relative entre la voyelle et la consonne codaïque de la rime (peut-être en partie due au fait que seule la partie finale du geste de fermeture VC est visualisable avec l'EPG).

En effet, en fonction du poids croissant de la frontière prosodique, alors que la durée de l'intervalle inter-VC augmente en durée avec l'allongement de la rime, la proportion de cet intervalle diminue. Cette réduction relative dans la séquence indique que la coordination inter-gestuelle serait modifiée dans le sens d'un rapprochement des gestes vocalique et consonantique.

La mesure de latence relative entre les gestes semble confirmer ce comportement. La latence relative du geste consonantique est moins grande par rapport à la fin du geste vocalique, plus l'allongement de la voyelle et de la rime augmente avec l'importance de la frontière prosodique subséquente. Cette diminution relative de l'intervalle VC tiendrait donc à ce que le début du geste consonantique se rapproche relativement de la fin du geste vocalique, plus la voyelle et la rime s'allongent.

Nous interprétons ce phénomène comme un renforcement graduel de la cohésion temporelle articulatoire dans la rime, plus la frontière prosodique subséquente est importante. Cette cohésion inter-gestuelle plus forte reposerait sur le fait que la voyelle s'allonge de façon plus importante que la rime globalement, et plus particulièrement que la consonne codaïque, plus la frontière prosodique est élevée.

Cette manœuvre articulatoire temporelle laisse penser que la synchronisation entre les gestes composant la rime est plus contrainte plus l'allongement du geste vocalique et de la rime est important. Une limite de la liberté de la magnitude de l'allongement vocalique et d'extension de l'intervalle inter-gestuel VC impose que le geste consonantique ne puisse être trop retardé par rapport à la fin du geste vocalique. De ce fait, la synchronisation des gestes est plus stricte et se traduit par une latence moins grande du geste codaïque par rapport à la durée du geste vocalique.

Or, nous avons également observé une tendance générale (non statistiquement dégagée par la procédure, cf. §III.2-1.2.1.b) à ce que la durée de la fermeture du geste linguopalatal consonantique augmente devant une frontière accentuelle ou intonative. Il est apparu également que cet allongement reposerait sur une réduction de la vitesse d'établissement du contact linguopalatal.

Ce comportement de l'attaque de la consonne codaïque laisse supposer qu'un ralentissement articulatoire est à l'origine de l'allongement de la durée de l'intervalle inter-VC dans la rime, ce que les études de Beckman et ses collègues et celles de Byrd & Saltzman (1998), Byrd et al. (2000) et Byrd (2000) montrent s'agissant de l'articulation de l'allongement final de groupe intonatif majeur.

Les études sur la synchronisation temporelle des gestes articulatoires relatent que les variations de débit d'élocution entraînent une coordination moins libre, donc plus contrainte, des articulateurs. Ainsi, par exemple, plus le débit augmente, moins la synchronisation entre les gestes de différents articulateurs est variable, indiquant que des contraintes liées à la vitesse différente des articulateurs s'exercent et imposent des limites dans la liberté de coordonner les gestes articulatoires (Nelson et al. 1984, Ostry et al. 1987, Adams et al. 1993).

On peut penser qu'ici un processus comparable s'exerce dans la rime sur la coordination du geste consonantique par rapport au geste vocalique en fonction de l'allongement de la voyelle soumis à l'importance du niveau hiérarchique de la frontière prosodique subséquente.

Dans les comportements naturels de parole, des limites d'allongement de la rime et de la voyelle en frontière existent. Elles ne sont pas nécessairement d'ordre physiologique, mais plutôt linguistique et phonétique, tenant à des raisons de différenciation de niveaux d'allongement et d'ordre paralinguistique lié au temps et au débit de parole ou de naturalité.

Ainsi, la rime et la voyelle finale ne peuvent pas s'allonger indéfiniment. Il est alors possible que quand la limite contextuelle d'extension temporelle se rapproche, l'allongement soit réalisé principalement sur l'élément essentiel de la syllabe au détriment de l'intervalle inter-gestuel VC et de la consonne codaïque. Certains contextes favoriseraient un allongement beaucoup plus important de la voyelle dans la rime, alors que l'intervalle inter-gestuel serait moins concerné ; provoquant de ce fait un rapprochement des gestes plus l'allongement est important (cf. IV.2:1.1.3). Cette limite dans l'allongement est probablement liée à celle de la réduction locale de la vélocité des gestes articulatoires en frontière prosodique majeure.

Ce mécanisme expliquerait donc peut-être une cohésion articulatoire temporelle plus grande au sein de la rime, entre geste vocalique (nucléus) et geste consonantique (coda), plus le degré d'allongement est grand en fonction du poids hiérarchique de la frontière prosodique subséquente.

### **1.1.2. Une coproduction trans-frontalière réduite**

Il apparaît également qu'en frontière prosodique majeure, cette cohésion inter-gestuelle renforcée dans la rime contraste avec une rupture temporelle plus importante entre la consonne en coda et la consonne initiale de la syllabe post-frontalière (cf. §III.2:2.3.2).

Au moins pour les groupes /lk/ et /tk/, la coproduction inter-consonantique réduit graduellement à mesure que la frontière sépare des constituants prosodiques de niveau hiérarchique plus élevé. En effet, inversement à la rime, l'intervalle inter-CC augmente en durée mais aussi en pourcentage dans la

séquence.

Ainsi, l'intervalle temporel relatif entre la consonne finale pré-frontalière et la consonne post-frontalière s'accroît dans la séquence (/tk/), ou bien, la proportion du chevauchement articulatoire du geste de la consonne initiale par celui de la consonne finale diminue (/lk/ et /tk/).

Ce comportement rejoint celui constaté par Byrd et al. (2000) et par Hardcastle (1985) en frontière de constituant intonatif majeur. Cette réduction de la coproduction des enchaînements consonantiques est également vérifiée pour l'articulation supraglottique en syllabe accentuée (par exemple, de Jong et al. 1993, Meynadier et al. 1998).

Néanmoins, comme le montre le tableau IV.2.2, seul un type de groupe de consonnes montre une réduction de la coproduction inter-gestuelle en fonction du niveau hiérarchique croissant de la frontière prosodique.

Ainsi, les groupes /lk/ et /tk/ y sont sensibles, alors que les groupes /kl/ et /kt/ se montrent résistants s'agissant des variations temporelles soumises au contexte prosodique.

**Tableau IV.2.2** – Nombre de mesures concernant la séquence inter-consonantique (C1#C2) répondant à la hiérarchie prosodique (à gauche) et nombre de mesures répondant de manière plus étroite aux principales distinctions hiérarchiques attendues (à gauche, cf. tableau IV.1.2)

	mesures répondant à la hiérarchie				mesures répondant à la hiérarchie attendue			
	/kl/	/kt/	/lk/	/tk/	/kl/	/kt/	/lk/	/tk/
C1#C2	0	0	3	8	0	0	1	8
C1#V2	2	0	10	5	0	0	9	1
V1#C2	12	9	5	9	10	4	4	6
<i>total</i>		23		40		14		29

Nous interprétons cet effet du type de groupes de consonnes, antérieur-postérieur *vs* postérieur-antérieur, comme le résultat de contraintes articulatoires inhérentes plus fortes s'exerçant dans les groupes /kl/ et /kt/, qui ont pour conséquence d'augmenter leur cohésion articulatoire intrinsèque. Cette cohésion plus importante se traduit par une durée des groupes /kl/ et /kt/ plus courte<sup>56</sup> et un chevauchement articulatoire plus important par rapport à leur groupe miroir respectif /lk/ et /tk/ (cf. §III.2:2.3.2).

De plus, ces contraintes spécifiques se manifestent pour /kl/ et /kt/ par le fait que les lieux d'articulation des consonnes, tant postérieures que antérieures, se déplacent en périphérie de la zone palatale par rapport à ceux relatifs à /lk/ et /tk/. Les travaux de Gibbon et al. (1993) et Hardcastle et al. (1996) corroborent que ce comportement (au moins pour /k/) est typique de l'enchaînement linguopalatal entre la consonne postérieure et l'antérieure.

Nous ne développons pas ici d'avantage ces arguments qui ont déjà largement été discutés dans la partie exposant les résultats relatifs à la séquence C1#C2 (cf. §III.2:2.3).

L'examen du timing entre la consonne finale pré-frontalière et la voyelle de la syllabe initiale post-frontalière (C1#V2) confirme une démarcation temporelle plus prononcée selon le poids hiérarchique de la frontière prosodique médiane (cf. §III.2:3.1).

La durée de l'intervalle temporel entre la fin de la consonne codaïque (#C1) et le début de la voyelle de la syllabe post-frontalière #(C)V2 s'allonge avec le niveau hiérarchique croissant de la frontière prosodique, alors même que, dans certains cas (/lk/), un allongement de la séquence est également constaté.

Cela indique que le timing est plus distendu entre la consonne finale et la voyelle initiale. La mesure de la latence relative à la fin articulatoire de la consonne codaïque par rapport au début de l'articulation de

<sup>56</sup> La durée moyenne des groupes /kl/ et /kt/ est respectivement de 121 et de 109 ms, alors que celle des groupes /lk/ et /tk/ est de 143 et 132 ms (cf. §III.3:1.1).



la voyelle subséquente confirme ce mécanisme.

En effet, alors que la durée de la voyelle et celle de la consonne ne s'allongent pas significativement avec l'importance de la frontière, le geste linguopalatal de la consonne se termine plus tôt par rapport à celui de la voyelle. La synchronisation inter-gestuelle serait donc modifiée par un délai articulatoire plus important, plus la frontière prosodique occupe une place élevée dans la hiérarchie prosodique.

Du point de vue de la latence relative du geste consonantique par rapport au geste vocalique, le fait qu'un effet inter-individuel statistiquement significatif de la hiérarchie prosodique ressorte pour le groupe /kl/ (C1#V2, tableau IV.2.2), plus résistant aux modifications de timing articulatoire, renforce la perspective d'une rupture plus marquée entre la rime finale pré-frontalière et la syllabe post-frontalière, plus la frontière prosodique est importante.

Ainsi, il apparaîtrait que, de manière catégorielle selon le poids hiérarchique de la frontière prosodique, la cohésion articulatoire de la rime et une démarcation temporelle entre celle-ci et la syllabe initiale post-frontalière soient renforcées.

Ce mécanisme constituerait dans cette étude la manœuvre supra-glottique principale de marquage articulatoire de la hiérarchie des frontières finales prosodiques.

### 1.1.3. L'influence potentielle de l'absence de pause

Reste que cette interprétation n'est pas tout à fait en accord avec la description fournie par les travaux de Edwards et al. (1991) et Beckman & Edwards (1992) relatifs au mécanisme articulatoire dynamique de l'allongement final de groupe intonatif majeur.

Ces auteurs montrent que, dans le contexte particulier de débit lent, un allongement extra-long peut être produit en fin de groupe intonatif garantissant la préservation du contraste de débit de parole et de magnitude de l'allongement final de groupe intonatif. Ce type d'allongement atteindrait les limites dynamiques intra-gestuelles relatives à la tension et à la vitesse minimale des gestes articulatoires.

En deçà, d'un certain degré de ralentissement du tempo, l'allongement final (normalement produit par une décélération locale du geste final) ne serait plus réalisé par une réduction de la tension et de la vitesse des gestes, ces paramètres ayant atteint leur limite inférieure, mais par un retardement de la fermeture maximale du geste consonantique codaïque par rapport à l'ouverture maximale de la voyelle précédente. Le geste consonantique codaïque serait alors coordonné plus tardivement avec le geste vocalique nucléaire au sein de la rime finale de constituant intonatif majeur.

Dans notre cas, nous semblons observer l'inverse, alors même que les limites d'allongement par une décélération locale des gestes n'est probablement pas atteinte. Les gestes semblent être coordonnés plus étroitement à mesure que l'allongement de la rime et de la voyelle augmentent en fonction du poids de la frontière prosodique subséquente.

Même si cette différence pourrait provenir du fait que nous n'observons électropalatographiquement qu'une portion des gestes de la langue (concernée par la constriction linguopalatale), la manœuvre articulatoire qui apparaît dans notre étude pourrait peut-être être la conséquence d'une absence de pause finale en frontière intonative majeure et de la nature différente de l'enchaînement inter-consonantique trans-frontalier observé ici.

En effet, la pause et l'allongement sont les traits suprasegmentaux temporels caractéristiques des constituants intonatifs, même si la pause reste facultative (l'allongement à lui seul pouvant constituer une pause subjective, Rossi 1999)<sup>57</sup>.

Lors de l'enregistrement du corpus, nous avons donné comme consigne aux locuteurs de lire d'un seul tenant les phrases sans produire de pause. Ce fait, non ressenti comme une gêne de leur part, a peut-être provoqué un comportement articulatoire particulier.

Dans le cas d'une pause, la fin articulatoire de la consonne finale et le début de la consonne initiale sont réalisées dans la pause, celle-ci étant bien souvent articulatoirement remplie (Fougeron 1998 : 110,

<sup>57</sup> Pour Duez (1987), pause et allongement constituent les expressions d'un même phénomène temporel sous-jacent ; la pause fait partie des processus d'allongement final.

Byrd & Saltzman 1998, Byrd 2000). L'absence de pause subséquente à la consonne codaïque (C1) provoque une proximité plus importante de la consonne initiale suivante. Dans cette condition, la démarcation de frontière pourrait s'effectuer par un allongement de la consonne codaïque pré-frontalière. Ce n'est pas la stratégie que nous observons ici.

La démarcation finale de frontière majeure est réalisée par une manœuvre rythmique relative à la dynamique articulatoire dans l'enchaînement inter-consonantique. L'allongement de la rime et de la voyelle, qui marquent la frontière finale, s'accompagnent d'un délai relatif plus grand entre les éléments trans-frontaliers, pour renforcer d'avantage la démarcation majeure opérée en fin de groupe intonatif.

La cohésion articulatoire temporelle entre les éléments de la rime contraste avec un délai trans-frontalier plus important, renforçant encore d'avantage la démarcation. Ainsi, une modification du timing des gestes en frontière de constituant prosodique majeur pourrait apparaître comme une stratégie compensatoire des locuteurs pour assurer une démarcation importante en l'absence de possibilité de réaliser une pause. Cette interprétation pourrait peut-être expliquer la différence dans le patron dynamique articulatoire observé ici par rapport à celui décrit par Beckman et ses collègues.

Dans notre cas, l'allongement final serait également produit par un ralentissement local du tempo articulatoire des gestes, mais combiné en l'absence de pause finale de groupe intonatif majeur, à un comportement compensatoire des locuteurs visant à réaliser une démarcation plus marquée en opérant des modifications dans la coordination articulatoire des gestes frontaliers, internes à la rime, et trans-frontaliers.

## 1.2. Des variations articulatoires principalement temporelles

Comme l'interprétation des mécanismes articulatoires participant au marquage supra-glottique de la hiérarchie des frontières prosodiques le montre, les variations temporelles de durée, de proportion et de latence relative articulatoires sont bien plus régulières et marquées que les variations spatiales des gestes de constriction linguopalatale.

**Tableau IV.2.3** – Nombre et pourcentage des mesures selon leur type, temporel ou spatial, répondant à la hiérarchie prosodique (*HP*) et de celles répondant de manière plus étroite aux principales distinctions hiérarchiques attendues (*HPA*, cf. tableau IV.1.2). « *ms* » pour les mesures de durée ; « % » pour les mesures de proportion ; «  $\lambda$  » pour les mesures de latence relative

type de mesures		nombre total de mesures	HP		HPA	
			nb	%	nb	%
segment / séquence	ms	92	22	24	15	16
/phase articulatoire	%	48	6	13	3	6
<i>total</i>		<i>140</i>	<i>28</i>	<i>20</i>	<i>18</i>	<i>13</i>
intervalle inter-segmental	ms	108	19	18	14	13
	%	132	17	13	10	8
	$\lambda$	192	29	15	18	9
<i>total</i>		<i>432</i>	<i>65</i>	<i>15</i>	<i>42</i>	<i>10</i>
<b>mesures temporelles</b>		<b>572</b>	<b>93</b>	<b>16</b>	<b>60</b>	<b>11</b>
spatiale	amplitude	64	5	8	4	6
	lieu d'articulation	28	2	7	0	0
spatio-temporelle		48	2	4	2	4
<b>mesures spatiales</b>		<b>140</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
tous types de mesures		712	102	14	66	9

Ainsi, le tableau IV.2.3 montre qu'en pourcentage, relatif au nombre total de mesures effectuées selon leur type et leur échelle, les mesures temporelles dégagées par la procédure sont presque trois fois plus nombreuses que les mesures spatiales ou spatio-temporelles. Cette différence est équivalente au regard du degré de correspondance, plus (*HPA*) ou moins (*HP*) stricte, avec la hiérarchie prosodique.

Deux raisons peuvent expliquer cette prévalence de la dimension temporelle dans l'expression articulatoire de la hiérarchie prosodique.

La principale tient au fait que nous étudions essentiellement des phénomènes prosodiques de frontière et beaucoup moins d'accent (proéminence). Seule la catégorie étroite de l'accent rythmique final de mot interne de syntagme (AM) représente clairement les proéminences. Toutes les autres, en dehors des catégories inaccentuées, sont relatives à des catégories prosodiques assurant une fonction de démarcation dans l'énoncé.

Les travaux effectués dans le domaine des corrélats supralaryngés de la structure prosodique montrent généralement que seule la dimension temporelle est réellement impliquée pour le marquage des frontières. Cela rejoint le fait que la durée constitue le paramètre principal, par l'allongement final, des faits de frontière et permet de distinguer catégoriellement différents niveaux hiérarchiques (Ladd & Campbell 1991, Wightman et al. 1992).

Les variations spatiales concernant les marques articulatoires de frontière sont soit inexistantes, soit minimales. Ainsi, Beckman et ses collègues<sup>58</sup> distinguent clairement un effet de frontière et un effet de proéminence accentuelle sur la base des mécanismes de dynamique articulatoire permettant de réaliser l'allongement concomitant à ces deux phénomènes prosodiques.

Dans le cas de la frontière, seule la dimension temporelle des gestes est réellement concernée, alors que l'amplitude des gestes participe de manière importante à la réalisation supraglottique des accents, qu'ils soient lexicaux, nucléaires, focaux ou contrastifs.

Cette distinction est appuyée par nombre d'études articulatoires : par exemple, Byrd & Saltzman (1998), Byrd et al. (2000) et Byrd (2000) pour la frontière, et Summers (1987), de Jong (1995), Erickson (1998), Lævenbruck (1999, 2000), pour les accents.

Cela ne signifie pas que la dimension temporelle articulatoire soit bannie des faits purement accentuels, comme le prouve l'importance de la coordination temporelle des gestes articulatoires pour expliquer les phénomènes de troncation dans la distinction opérée par l'accent lexical en anglais entre voyelles « stressed » et « unstressed » (Harrington et al. 1995, Beckman & Cohen 1999).

La seconde raison, plus triviale, repose sur le fait que notre procédure d'analyse des phénomènes articulatoires spatiaux propose une fenêtre d'observation du signal relativement restreinte.

En effet, les zones EPG déterminées pour rendre compte des variations d'amplitude de constriction des gestes comptent relativement peu de contacts EPG, ou ne sont peut-être pas totalement hermétiques. Cette restriction pourrait réduire l'observation des déplacements verticaux ou horizontaux des gestes de constriction linguopalatale.

Cette raison expliquerait peut-être en partie l'absence criante de résultats concernant cette dimension articulatoire dans notre étude.

Ce point est notamment relié directement au fait que, contrairement à un certain nombre de travaux, dans notre étude, la consonne initiale post-frontalière n'apparaît pas être le lieu d'un renforcement articulatoire graduel selon le poids croissant de la frontière prosodique.

Nous discutons de ce sujet dans la partie qui suit.

---

<sup>58</sup> Edwards & Beckman (1988), Edwards et al. (1991), Beckman & Edwards (1992, 1994), Beckman et al. (1992) et enfin Beckman & Cohen (1999).

## 2

### ***L'absence de marquage supraglottique en attaque de constituant ?***

Nous n'avons pas mis en évidence un marquage articulatoire de la syllabe initiale renforcé de manière croissante selon le niveau hiérarchique constituant prosodique, alors qu'un certain nombre d'études en attestent de manière homogène pour les mêmes articulations linguopalatales et par une technique instrumentale comparable (Fougeron & Keating 1997, Hsu & Jun 1997, Fougeron 1998, Cho 1998).

La syllabe initiale post-frontalière est la seule pour laquelle aucune mesure articulatoire n'est dégagée inter-individuellement par notre procédure d'analyse (tableau IV.2.1). Ce fait est d'autant plus problématique que le renforcement articulatoire régulier dans cette position fait qu'elle est généralement considérée comme un site prosodique important pouvant participer à la démarcation initiale des constituants prosodiques (Keating 1995a, Fougeron 1998).

Selon deux aspects essentiels, nous ne reproduisons pas les résultats dégagés par les autres études : au niveau des variations de durée des gestes et au niveau de l'amplitude de la constriction linguopalatale maximale.

Nous ne prenons comme point de comparaison que les travaux de Fougeron & Keating (1997) et de Fougeron (1998), mais les mêmes constatations sont également valables pour les autres études rapportant des résultats tout à fait similaires : Hsu & Jun (1997) et Cho (1998).

#### **2.1. Une durée plus longue des consonnes linguopalatales initiales**

Nous n'avons pas mis en évidence d'allongement articulatoire de la consonne initiale.

La seule mesure répondant de façon étroite à la hiérarchie concerne une réduction de la phase de fermeture linguopalatale de /t/ initial après une frontière intonative (C2, tableau IV.2.1 et figure III.2.4)<sup>59</sup>.

La seule tendance générale pouvant traduire un renforcement de la consonne initiale dans notre étude concerne une proportion plus grande de la phase d'occlusion dans la consonne initiale en position post-accentuelle ou en début de groupe intonatif. La différence est assez nette de l'ordre de 10 % par rapport au contexte inaccentué (figure III.2.13).

Par contre, Fougeron rend compte d'allongement de l'occlusion linguopalatale des consonnes /k, t, n/ selon deux à quatre niveaux hiérarchiquement croissants de la frontière prosodique précédente. Ce phénomène est assez homogène pour les deux locuteurs observés<sup>60</sup>.

Byrd et al. (2000) observent également un allongement important de la phase fermeture linguale de la consonne /n/ en initiale de groupe intonatif.

Outre des contextes différents relatifs aux types d'enchaînement observés (V#CV pour Fougeron vs C#CV pour nous), cette différence de résultat pourrait provenir des zones EPG utilisées pour segmenter les consonnes. Cette zone est assez réduite dans notre étude. Elle est constituée par les quatre colonnes les plus centrales sur les huit que compte le palais (cf. §II.3:2.1.2.a).

La procédure de segmentation, nécessaire pour isoler les gestes des deux consonnes contiguës, peut avoir un effet boomerang en minimisant la durée du geste et donc la magnitude de la modification temporelle observée. Cette zone limitée favorise en effet une apparition plus tardive du début et plus

<sup>59</sup> Les deux autres mesures dégagées par la procédure pour ce groupe (tableau III.2.4) montrent des distinctions catégorielles imparfaitement agencées avec la hiérarchie prosodique.

<sup>60</sup> Fougeron & Keating (1997) observe la durée acoustique de la consonne /n/, ce qui rend leurs résultats non directement comparables.

précoce de la fin de l'articulation linguopalatale.

Seule une mesure d'allongement consonantique a pu émerger de notre procédure, elle concerne la consonne /t/ en position finale.

Cette absence d'allongement consonantique dans notre étude pourrait être en partie le fait de la procédure de segmentation.

## **2.2. Une constriction linguopalatale plus ample des consonnes initiales**

Contrairement aux études de Fougeron & Keating et de Fougeron (cf. §I.2:2.3.3), nous n'avons pas mis en évidence un degré de contact linguopalatal des consonnes initiales plus important selon la hiérarchie prosodique.

Dans notre étude, la constriction de la consonne n'est pas renforcée dans les positions prosodiques plus fortes. Quatre raisons potentielles pourraient rendre compte de cette absence de résultat :

- (1) une différence de contexte phonotactique ;
- (2) une variabilité inter- et intra-individuelle ;
- (3) une différence de système EPG ;
- (4) une restriction des zones EPG de calcul du taux de contacts linguopalatal

### **2.2.1. Une différence de contexte segmental**

La première concerne le fait que, dans cette étude, nous observons une consonne linguopalatale précédée d'une autre consonne linguopalatale, alors que, dans les deux autres études, elle est précédée directement d'une voyelle ouverte.

Les contraintes articulatoires selon le type d'enchaînement, C#C vs V#C, n'étant pas les mêmes, la coarticulation linguopalatale consonantique pourrait être moins favorable à une émergence des co-variations spatiales selon le contexte prosodique pour la consonne initiale.

En effet, nous avons déjà montré que ce type de séquence pouvait être le lieu de contraintes articulatoires spécifiques (cf. §III.2:3). Il est possible que ces contraintes intrinsèques limitent fortement ou masquent des effets articulatoires plus ténus, comme les variations facultatives conditionnées par le contexte prosodique.

De plus, cette absence de variation d'amplitude est probablement plus marquée encore au moins pour la consonne /k/, du fait des cas de postériorisation de cette consonne, rendant ces articulations (vélares) non réellement observables avec l'EPG.

### **2.2.2. La variabilité intra-individuelle**

Une autre raison potentielle de ce défaut de résultats concernant #C2, pourrait reposer sur le fait que les variations examinées sont largement facultatives et soumises aux stratégies ou à la variabilité inter- et intra-locuteur, comme tout autre phénomène relatif à la parole et plus généralement aux processus naturels.

En effet, il est avéré que plusieurs stratégies sont disponibles pour un renforcement articulatoire segmental (Harrington et al. 2000, par exemple). Or, notre procédure d'analyse inter-individuelle ne permet pas de capter les phénomènes articulatoires si les trois locuteurs réalisent ce renforcement de manière différente (c'est-à-dire exprimé par trois mesures différentes, cf. §II.4).

Néanmoins, concernant les variations d'amplitude, aucun des trois locuteurs ne montrent individuellement de tendance à un renforcement de ce type pour la consonne initiale répondant étroitement à la hiérarchie prosodique.

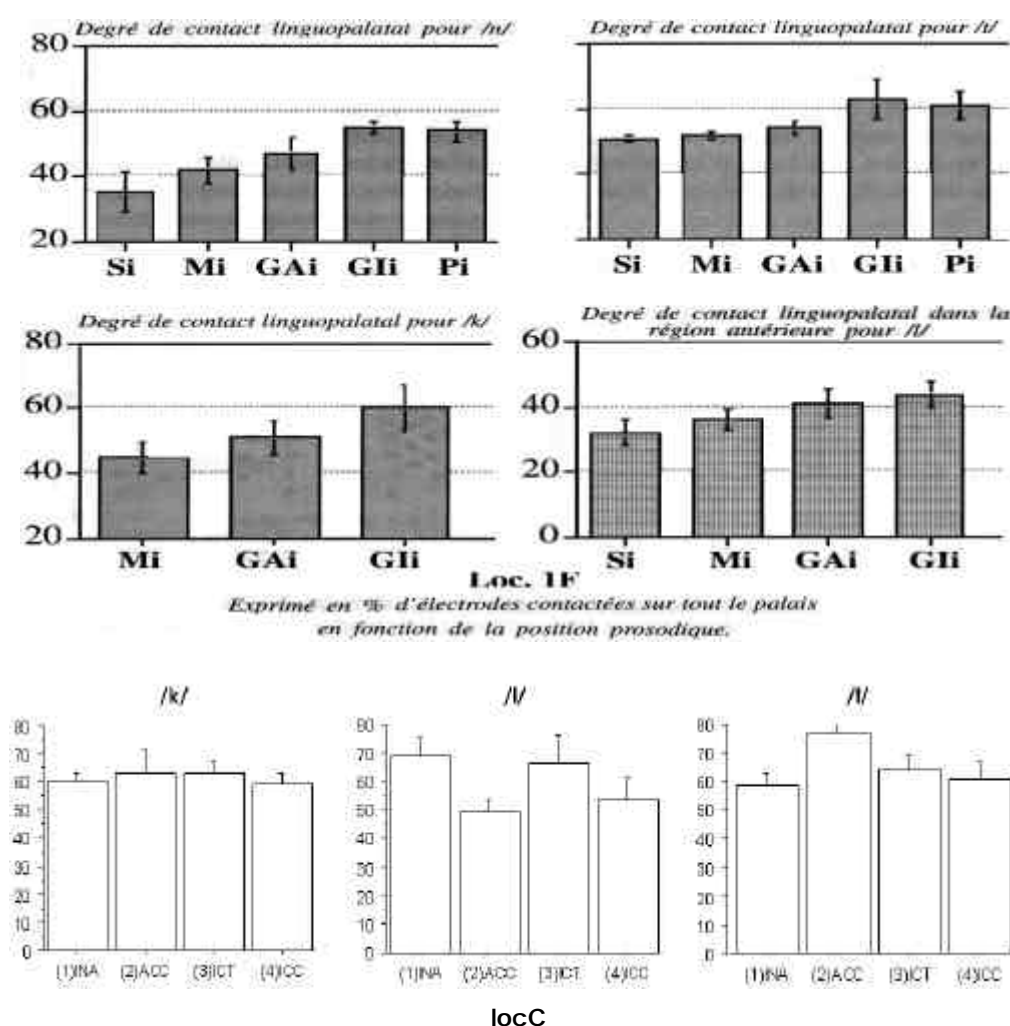
D'autre part, il se trouve que nous partageons avec Fougeron (1998) un de nos locuteurs (locC/loc.1F).

Dans l'étude de Fougeron (1998), celui-ci réalise les consonnes /k, t, l/ avec une constriction linguopalatale graduellement plus importante selon 2 à 4 niveaux hiérarchiques prosodiques suivant la consonne observée.

Dans notre étude, pour les mêmes consonnes et des niveaux prosodiques comparables, soit une absence d'effet (/k/), soit un effet non cohérent avec la hiérarchie prosodique (/l, t/) caractérise sa production (figure IV.2.1).

En dehors du fait que cette divergence de comportement individuel peut bien entendu être due à la différence du système d'acquisition EPG utilisé, du corpus, de l'environnement phonotactique ou prosodique, ce cas également illustre l'optionalité contextuelle des phénomènes observés, mais surtout leur sensibilité à la variabilité intra-individuelle, et pas seulement inter-individuelle.

Reste qu'il nous semble que, dans notre étude, les deux autres causes pourraient peut-être en partie également expliquer ce manque d'effet de la hiérarchie prosodique relative à l'amplitude linguopalatale de la consonne initiale. Elles sont relatives au système et à la procédure d'analyse EPG.



**Figure IV.2.1** – Effet de la hiérarchie prosodique sur le taux de contacts EPG des consonnes /k, l, t/ initiales de constituants dans notre étude (en bas) et dans celle de Fougeron (1998, en haut)<sup>61</sup> pour le même locuteur (locC/loc.1F)

### 2.2.3. Deux systèmes EPG différents

Cette absence d'un effet du niveau de frontière prosodique sur la spatialité des gestes consonantiques pourrait provenir tout d'abord d'une différence dans le système EPG utilisé.

Le palais de Kay est utilisé dans toutes les autres études qui rendent compte de ce renforcement spatial

<sup>61</sup> Figures 3.1, 3.2, 3.3 (p. 99) et figure 3.21 (p. 118), reproduites avec l'aimable autorisation de l'auteur.

de la constriction linguopalatale de la consonne initiale. Ce palais compte 96 électrodes sur une zone de recouvrement plus importante : dento-palatale.

Pour sa part, le palais de Reading, utilisé ici, comprend plus d'un tiers d'électrodes en moins sur une zone strictement palatale. Il se peut donc que la granularité plus grossière du palais de Reading réduise les possibilités d'observation de variations de contacts relativement ténues.

Cette explication nous paraît possible du fait que dans une étude comparative des deux systèmes (Fougeron, Meynadier & Demolin 2000), nous avons montré qu'un nombre plus important d'électrodes, dans les zones tant antérieures que postérieures, permet un gain non négligeable dans la description des articulations linguopalatales et dans l'observation des phénomènes de coarticulation spatiale CC et CV.

En effet, cette étude montre que, d'un côté, les deux systèmes permettent de rendre compte globalement des mêmes phénomènes articulatoires, mais que, d'un autre côté, les distinctions statistiques selon le facteur considéré sont plus fines avec le palais de Kay qu'avec celui de Reading.

Ainsi, pour les articulations suivantes : /n, l, s, k, y, u/, le palais de Kay permet, à partir du taux de contacts EPG, un nombre de distinctions statistiques supérieur à celui de Reading dans la plupart des zones d'articulation observées.

Nous avons également comparé leur capacité à rendre compte de phénomènes de coarticulation : la postériorisation de /k/ dans /kl/ et l'influence du contexte vocalique /a, y, u/ sur la constriction linguopalatale maximale de la consonne /n/ précédente.

Pour la première comparaison, les résultats montrent que les deux systèmes permettent de rendre compte de la postériorisation de /k/ dans /kla/, par rapport à une production en contexte /aka/. Par contre, aucune occlusion incomplète n'est comptabilisée pour le système de Kay, alors que pour le système de Reading elles représentent 50 % des cas.

La seconde comparaison montre que les deux systèmes permettent de rendre compte de l'anticipation de la voyelle en fonction du taux de contacts EPG sur tout le palais dans la consonne /n/, en distinguant significativement /na/ < /nu/ < /ny/. Par contre, selon les zones EPG considérées, les deux systèmes ne montrent plus la même précision.

Les différences concernent particulièrement la zone antérieure post-alvéolaire et la zone postérieure vélaire (figure II.3.2). Pour la première, le système de Kay permet de distinguer statistiquement les trois contextes alors que celui de Reading ne distingue plus /ny/ de /nu/. Pour la zone vélaire, les deux systèmes ne rendent pas compte des mêmes distinctions statistiques.

Or, ces zones, où le système de Kay semble plus sensible, sont celles étudiées dans cette étude, et composent la partie essentielle de nos zones antérieure et postérieure de calcul du taux de contacts linguopalataux.

On peut donc penser que dans notre cas aussi le palais de Reading risque de proposer une moins grande précision d'observation de l'amplitude de la constriction linguopalatale.

#### **2.2.4. Des fenêtres d'observation réduites**

Néanmoins, à cette différence de système EPG est combinée le fait que le contexte consonantique a nécessité de réduire la fenêtre d'observation des variations de contacts linguopalataux par la définition de zones d'observation spatiale des constriction linguopalatales plus restreintes : les zones de calcul du taux de contacts EPG antérieurs et postérieurs (cf. §II.3:2.1.2.a).

Cette méthode a été choisie pour étudier le chevauchement temporel inter-CC. Nous avons donc tenté de définir des aires d'articulation antérieure et postérieure « hermétiques » permettant de séparer les gestes consonantiques contigus, en évitant de prendre en compte lors de l'articulation C1 des changements de contacts occasionnés par C2, et inversement.

La détermination des zones EPG consonantiques est donc fondée sur l'exclusion d'un certain nombre d'électrodes. De ce fait, les possibilités d'observer des variations d'amplitude de constriction linguopalatale sont d'autant plus réduites.

Si, par contre, pour la voyelle /a/ nous observons une réduction significative et graduelle du contact

linguopalatal selon deux à trois niveaux hiérarchiques prosodiques croissants (cf. §III.2:1.1.1), c'est probablement que les variations de contacts linguopalataux observées reposent sur le calcul du taux de contacts EPG effectué sur tout le palais.

Ainsi, alors que la voyelle se caractérise par un contact EPG très réduit, nous dégagons tout de même une réduction significative et graduelle du contact linguopalatal selon des niveaux hiérarchiques prosodiques croissants. Pour les consonnes, alors qu'elles sont caractérisées par un taux de contact bien plus grand, aucune variation d'amplitude n'apparaît (§III.2:1.2).

Cette différence illustre le fait que les zones EPG plus réduites peuvent potentiellement expliquer l'absence de renforcement de l'articulation linguopalatale dans notre étude.

Il se peut également que les zones définies ne soient pas en fait totalement « hermétiques » entre les gestes consonantiques. Dans ce cas, il est possible que certaines électrodes dans l'enchaînement C#C soient quasi toujours contactées, du fait qu'elles soient partagées par les deux gestes consonantiques. Dès lors, les zones EPG pourraient être saturées plus rapidement et ne laisseraient que peu d'espace pour des variations différentielles.

Précisons que notre propos n'est pas de dire que nous n'avons pas mis en évidence d'effet de renforcement de l'amplitude de la constriction linguopalatale de la consonne initiale parce que le palais de Reading est « inefficace ».

Le palais de Reading a déjà prouvé sa capacité à rendre compte de phénomènes très semblables à ce que nous étudions : par exemple, l'effet de l'accent ou de la position initiale de mot (Vaggès et al. 1984, Farnetani & Vayra 1996, Farnetani 1997, Meynadier et al. 1999).

Notre propos est d'essayer d'identifier les raisons de ce « blanc » dans notre étude et d'estimer dans quelle mesure il pourrait être une conséquence méthodologique, sachant qu'il est tout aussi possible qu'il soit dû effectivement à une absence d'un tel renforcement pour nos locuteurs.

Or, une différence aussi nette peut laisser penser qu'un problème méthodologique en est la source. Il nous semble qu'il est possible que, mêmes si les phénomènes observés sont très fins, variables et optionnels, des raisons tenant à un système moins sensible et surtout à des aires de contacts plus restrictives (directement induites par le contexte segmental étudié : C#C) pourraient rendre compte en partie ce résultat, contrastant fortement avec les études antérieures portant sur la même question.

Reste que les investigations effectuées pour la détermination de ces zones n'ont pas fait apparaître d'effet de saturation des zones de contacts EPG pouvant invalider toute observation des variations d'amplitude ou de déplacement des constriction linguopalatales.

Il semblerait qu'en définitif des raisons multiples participent à ce résultat, dont l'absence effective de marquage articuloire produit par les locuteurs ou des distinctions trop différentes pour émerger inter-individuellement.

En conclusion, les co-variations articuloires concomitantes à la structure prosodique observée dans cette étude sont relativement ténues. Elles montrent cependant qu'un ensemble d'entre-elles répondent de manière homogène et relativement parallèle à la hiérarchie des frontières prosodiques. Ces co-variations articuloires sont quasi exclusivement temporelles et relatives au timing des gestes articuloires.

Ces phénomènes articuloires multiples répartis en différents points de la séquence semblent pouvoir être expliquées de manière intégrée par un mécanisme articuloire dynamique destiné à renforcer graduellement la démarcation opérée par la frontière prosodique selon son niveau hiérarchique.

Ainsi, plus la frontière prosodique est de niveau hiérarchique élevé, plus il semble que la rime pré-frontalière montre une cohésion temporelle plus importante par une réduction de l'intervalle inter-gestuel entre la voyelle et la consonne codaique, malgré l'allongement de la rime et de la voyelle finale. Cette cohésion au sein de la rime de la syllabe pré-frontalière contraste avec une rupture trans-frontalière plus marquée selon la hiérarchie prosodique.



Cette démarcation frontalière renforcée repose sur un délai relatif plus long entre les gestes consonantiques et vocaliques appartenant à la syllabe post-frontalière par rapport au geste consonantique codaïque de la syllabe pré-frontalière.

Nous n'avons pas observé de renforcement en initial de constituant prosodique de niveau croissant, contrairement à un certain nombre de travaux qui en attestent selon une méthodologie et des articulations relativement équivalentes.

Les raisons de cette absence de résultats similaires ne sont pas clairement identifiées, même si une procédure de prises de mesures différentes et un contexte phonotactique plus contraignant, donc moins favorable, peuvent être évoqués.

---

## ***Conclusion***

Cette étude sur les relations entre la structure prosodique et l'articulation linguopalatale portait sur un certain nombre de questions relativement laissées de côté dans les études récentes effectuées dans ce domaine.

L'influence de la structure hiérarchique prosodique sur les variations articulatoires s'est particulièrement focalisée sur les segments en position initiale selon la hiérarchie des constituants prosodiques de différents niveaux organisationnels de l'énoncé.

Sur le français, nous ne connaissons pas d'étude qui traite de cet effet en position finale. Or, la position finale est le domaine des marques prosodiques de frontière. Elle occupe donc une place essentielle dans l'organisation structurelle de l'énoncé par la prosodie, particulièrement concernant le français, langue à accent final dominant.

Les études effectuées sur la position initiale pouvaient laisser penser que celle-ci est le site privilégié de marquage supra-glottique de la structure hiérarchique prosodique. Il nous est donc apparu important d'étudier les phénomènes articulatoires en différentes positions syntagmatiques par rapport à la frontière, afin de préciser la participation respective des positions initiales et finales au processus de marquage articulatoire graduel.

De ce fait, nous avons également porté notre intérêt sur les aspects articulatoires dynamiques tenant du timing inter-gestuel pré-, post- et trans-frontalier entre les segments en frontière de constituant prosodique de différents niveaux.

Les groupes de consonnes sont apparus comme des contextes favorables à l'analyse des processus de coproduction articulatoire. De plus, ils font l'objet d'assez peu d'attention dans les études préoccupées par l'interaction entre hiérarchie prosodique et articulation.

Deux autres points nous ont également semblé fondamentaux.

D'une part, le résultat de toute étude phonétique pose le constat d'une variabilité individuelle importante. Or, si d'un côté, elle constitue un aspect fondamental pour la compréhension des comportements et des processus langagiers, d'un autre côté, il nous semble que tenter de s'en défaire peut apporter une information importante sur notre sujet.

Ne considérer que les phénomènes articulatoires homogènes inter-individuellement renseigne, au risque d'une vision restrictive, sur les processus qui peuvent constituer le nœud des relations entre articulation supraglottique et structure prosodique. Ainsi, on peut penser que les phénomènes articulatoires assez robustes à la variabilité inter-locuteur et réguliers constituent une information secondaire utilisée par les processus de perception pour aider et faciliter la reconnaissance et l'accès à la structure de l'énoncé.

De plus, nombre d'études dans ce domaine proposent des niveaux prosodiques validés exclusivement par une conception théorique de la structure prosodique, sans proposer de validation phonétique expérimentale des unités considérées.

Pour notre part, nous avons choisi de faire reposer notre analyse sur une validation phonétique des niveaux hiérarchiques envisagés. Il nous a semblé important de déterminer et de vérifier dans notre corpus si les niveaux étudiés correspondaient bien à une production homogène des locuteurs pouvant faire apparaître les niveaux hiérarchiques catégoriellement bien distincts par des marques prosodiques

spécifiques.

Ainsi, dans cette étude nous avons observé les co-variations articulatoires selon une hiérarchie croissante entre quatre niveaux de frontière prosodique :

- (1) frontière syllabique ou lexicale : syllabe inaccentuée interne ou finale de mot interne de syntagme
- (2) frontière accentuelle : syllabe accentuée finale de mot ou finale de groupe accentuel (ou mot prosodique)
- (3) frontière intonative continuative : syllabe accentuée finale de sujet nominal ou de thème préposé (extraction syntaxique à gauche)
- (4) frontière intonative conclusive : syllabe accentuée finale de phrase ou de thème post-posé (extraction syntaxique à droite).

Ces quatre niveaux correspondent à la hiérarchie prosodique suivante : inaccentué < accentué (groupe accentuel) < intonation continuative (groupe intonatif non terminal) < intonation conclusive (groupe intonatif terminal).

La méthode d'analyse a consisté à dégager de l'ensemble des variations articulatoires mesurées en différents points de la séquence segmentale VC#CV étudiée, quels lieux syntagmatiques, quels phénomènes et quelles dimensions répondaient à un comportement articulatoire inter-individuel de marquage supraglottique de la structuration hiérarchique de l'énoncé par la prosodie.

Les résultats ont montré qu'un processus articulatoire général pouvait inter-individuellement émerger et qu'il permettait d'opérer des distinctions de niveaux hiérarchiques proches des unités structurales proposées par les théories purement prosodiques de l'organisation de l'énoncé dans la parole. Il est apparu également que les variations articulatoires reposaient principalement sur un mécanisme dynamique répondant à des modifications de durée et de timing intra- et inter-gestuel.

La stratégie dégagée pour le renforcement articulatoire de la démarcation opérée par la frontière prosodique semble répondre à trois impératifs majeurs de la part des locuteurs. L'un porte essentiellement sur la voyelle accentuée de la syllabe finale pré-frontalière, l'autre sur la coordination articulatoire entre la voyelle et la consonne codaïque de la syllabe finale, et le dernier sur les enchaînements inter-gestuels trans-frontaliers.

Concernant l'articulation de la voyelle finale accentuée, les mesures articulatoires semblent indiquer que celle-ci est l'élément où se concentre une plus grande partie des modifications articulatoires corrélatives à la structure prosodique.

En dehors de son allongement graduel important, elle est la seule à rendre compte véritablement d'une modification articulatoire spatiale par une ouverture maximale progressivement plus ample et longue avec l'importance de la frontière prosodique subséquente.

Ce renforcement de la voyelle ouverte /a/ n'est pas original et est compatible avec toutes les propositions théoriques relatives à l'articulation supraglottique sous l'accent : par augmentation de la force articulatoire (Straka 1963), par maximalisation du contraste de sonorité (Beckman et al. 1992) ou des traits distinctifs des segments (de Jong 1995).

Le second mécanisme est plus intéressant et concerne la coordination entre le geste d'ouverture de la voyelle et de fermeture de la consonne codaïque appartenant à la rime de la syllabe finale pré-frontalière.

Nos résultats montrent que le timing inter-gestuel est modifié afin d'augmenter la cohésion temporelle de la rime. Ainsi, la voyelle s'allongeant de manière plus importante dans la rime semble occasionner un délai plus court entre sa fin articulatoire et le début de la consonne codaïque, qui elle ne présente pas de modification temporelle importante.

Cette manœuvre n'est pas décrite dans les travaux articulatoires portant sur cet aspect (Edwards et al. 1991, par exemple). Nous pensons que ce mécanisme peut être une stratégie permettant d'augmenter la

démarcation rythmique opérée par la frontière prosodique importante.

La dernière manœuvre articulatoire, concomitante aux deux précédentes, semble également participer à une démarcation graduellement plus importante en frontière prosodique de niveau croissant. Elle porte sur le timing entre le geste codaïque consonantique final de la rime pré-frontalière et celui relatif aux segments appartenant à la syllabe CV initiale post-frontalière.

Les mesures articulatoires effectuées montrent que l'intervalle temporel augmente graduellement en durée et en proportion entre la fin de la consonne finale et le début de la voyelle post-frontalière. Il apparaît que la coproduction inter-consonantique est réduite de façon graduelle entre les consonnes linguopalatales situées de part et d'autre d'une frontière prosodique de niveau hiérarchique croissant.

Ce phénomène de réduction de la coproduction CC est cependant dépendant de la nature des groupes de consonnes impliqués et probablement du fait de contraintes articulatoires intrinsèques. Ainsi, les groupes /kl/ et /kt/ (enchaînements postérieur-antérieur) se montrent résistants à l'effet du contexte prosodique, alors que les groupes /lk/ et /tk/ (enchaînements antérieur-postérieur) y sont sensibles.

Reste que, au moins pour /lk/ et /tk/, le timing inter-gestuel trans-frontalier est modifié dans le sens d'une coproduction moins importante des consonnes. Cette manœuvre dynamique participe à renforcer la démarcation de la frontière prosodique, en contrastant avec la cohésion plus grande au sein de la rime, et en augmentant le temps d'enchaînement articulatoire entre les gestes de part et d'autre des frontières importantes.

En dehors de ces modifications concentrées sur la syllabe finale de constituant prosodique et sur l'enchaînement inter-gestuel trans-frontalier, nous n'avons pas observé de changements articulatoires essentiels dans la syllabe initiale de constituant prosodique de niveau hiérarchique croissant.

Plus particulièrement, nous ne pouvons pas confirmer un renforcement de l'amplitude de la constriction linguopalatale de la consonne initiale en fonction de la hiérarchie prosodique. Ce résultat contraste fortement avec celui obtenu par nombre d'études ayant abordé cette question avec une instrumentation comparable.

Nous n'avons pas pu clairement identifier les raisons de cette différence dans les résultats, bien que nous pensons qu'il puisse provenir du contexte phonotactique plus contraignant (VC#CV vs CV#CV dans les autres études) et de la procédure de prise de mesure de la magnitude du contact linguopalatal (EPG).

Ce processus articulatoire dynamique général répond à un comportement graduel des mécanismes impliqués en fonction de l'importance hiérarchique de la frontière prosodique. En dehors des variations d'allongement de la voyelle et de la rime qui répondent généralement à une corrélation étroite selon les quatre niveaux prosodiques considérés, les autres phénomènes observés ne répondent qu'à deux ou trois niveaux de démarcation prosodique.

Les fréquences d'occurrences des distinctions significatives opérées par ces phénomènes renseignent sur le degré de correspondance entre structure prosodique et articulation. Plus les niveaux sont fréquemment distingués, plus on peut penser qu'ils satisfont à des niveaux élevés dans l'organisation prosodique de l'énoncé. Les résultats à ce sujet permettent donc de rendre compte de distinctions hiérarchiques de poids différent entre les unités/niveaux structurels prosodiques.

Les co-variations articulatoires répondant minimalement à la hiérarchie étudiée montrent que la distinction la moins fréquente et la moins stable concerne la séparation entre les deux niveaux hiérarchiques les plus élevés : groupe intonatif continuatif < groupe intonatif conclusif. Celle-ci apparaît comme hautement facultative.

Ce résultat indique que ces deux types de frontière n'ont probablement pas de relation hiérarchique et opèrent à un même niveau (intonatif) dans la structuration de l'énoncé. Ces faits sont en accord avec les modèles strictement prosodiques, tels que ceux de Hirst & Di Cristo (1984) et de Jun & Fougeron (2000) pour le français, ou de Pierrehumbert & Beckman (1988) pour l'anglais.

La seconde distinction exprimée dans les co-variations articulatoires repose sur la séparation des

niveaux inaccentué et accentué. Elle correspond à la démarcation des groupes accentuels.

Seuls un peu plus de la moitié des variations articulatoires mesurées, corrélées minimalement à la hiérarchie, répondent à cette distinction. Celle-ci pourrait de ce point de vue apparaître aléatoire.

Cependant, un taux d'inversion hiérarchique très faible entre ces deux niveaux indique que les variations articulatoires concomitantes ne sont pas indéterminées, puisque les syllabes accentuées sont caractérisées par des marques quasi toujours plus amples que les syllabes inaccentuées. Ces distinctions sont donc optionnelles mais non aléatoires.

Ce point souligne que les niveaux les plus bas de la hiérarchie prosodique opèrent une distinction moins contrastée au niveau articulatoire.

Enfin, la différenciation entre les deux niveaux intonatifs (continuatif/conclusif) et les deux niveaux inférieurs (inaccentuée/accréntuée) apparaît comme la plus marquée, tant en termes de fréquence d'occurrences que d'amplitude des variations articulatoires corrélatives à la structure prosodique. Plus des trois quarts des phénomènes articulatoires, répondant minimalement à la hiérarchie, opèrent cette distinction hiérarchique prosodique. De plus le cas d'inversion entre ces deux niveaux sont très rares.

Les variations articulatoires de la structure prosodique, quand elles sont réalisées, marquent donc de manière quasi systématique le niveau intonatif d'organisation de l'énoncé.

Ces niveaux de contraste hiérarchique prosodique de poids différent sont également observés de façon très similaire dans les autres études articulatoires concernées par ce paradigme. Ainsi, nos résultats bien que très différents sur le plan articulatoire, sont identiques sur ce point à ceux obtenus par Fougeron (1998) sur le français, analysant la position initiale de constituant selon une hiérarchie prosodique comparable.

Ces résultats relatifs à la corrélation entre variations articulatoires et poids hiérarchique de la frontière font apparaître une relation s'établissant sur deux à trois niveaux selon l'ordre suivant : syllabe/mot inaccentué < groupe accentuel << groupe intonatif.

Ces niveaux correspondent à ceux communément proposés dans les modèles hiérarchiques prosodiques, qu'ils soient phono-morpho-syntaxiques (Nespor & Vogel 1986, Selkirk 1984) ou strictement prosodique.

Cependant, les variations articulatoires, si elles sont produites (étant très facultatives), semblent indiquer qu'elles se restreignent à ces niveaux de contraste. Ce fait pourrait permettre de penser que les modèles prosodiques limitant le nombre des unités structurales de la parole sont plus proches des variations observées. Ces modèles concernent les approches purement phonologiques (Hirst & Di Cristo 1984, Pierrehumbert & Beckman 1988, Jun & Fougeron 2000) définissant les différents niveaux d'organisation prosodique de l'énoncé sur des critères strictement suprasegmentaux.

Cette adéquation plus étroite avec ce type de modèle théorique pourrait également indiquer que les traits prosodiques participent pleinement à la nature des phénomènes articulatoires observés. Et parallèlement que les variations articulatoires ne reposent pas essentiellement sur le rôle structurel que joue ces unités dans l'organisation de l'énoncé.

En effet, nous observons des variations quasi exclusivement de nature temporelle et non spatiale (amplitude des gestes) en frontière. Ce point reflète probablement le fait que la distinction majeure entre intonation et accentuation repose principalement sur le trait suprasegmental d'allongement final, attaché à l'expression phonétique des faits de frontière.

A contrario, le contraste accentuel est moins marqué par ce trait, réalisé plus intrinsèquement par une variation mélodique. Or, ce niveau prosodique est moins systématiquement marqué par des co-variations articulatoires supraglottiques.

Cela montre certainement que les phénomènes de co-variations articulatoires en frontière intonative repose principalement sur la dimension partagée par articulation supraglottique et prosodie. Ce point rejoindrait les propositions relatives à l'articulation de l'allongement final faites par Edwards et al. (1991) ou Byrd et al. (2000).

En résumé, dans cette étude nous avons mis en évidence que des phénomènes supralaryngés récurrents et relatifs à des stratégies de renforcement articulatoire inter-individuel accompagnent catégoriellement et parallèlement le poids hiérarchique de la frontière finale de constituant prosodique en français.

Si ces variations sont hautement facultatives, elles ne sont pas aléatoires et répondent à un sens de variation contraint par le poids croissant de la frontière dans la structure prosodique de l'énoncé.

Ces variations sont d'ordre temporel et concernent quasi exclusivement la voyelle et la rime finale de constituant et les enchaînements inter-gestuels trans-frontaliers.

Les corrélés supraglottiques rendent compte de trois niveaux hiérarchiques de démarcation prosodique : frontière de syllabe/mot < frontière accentuelle < frontière intonative.

Au terme de cette étude, nous voudrions présenter brièvement l'orientation de notre travail dans un futur proche, relatif à l'approfondissement de ce paradigme de l'interaction entre prosodie et (co)articulation.

Comme nous l'avons signalé dans cette étude, le corpus analysé ici est issu d'une série d'enregistrements articulatoires portant sur la séquence VCCV, où la position de la frontière prosodique est manipulée : VC#CV, VCC#V et V#CCV. La modification de la place de cette frontière devrait pouvoir nous permettre d'observer ses conséquences articulatoires en rapport à la démarcation syllabique.

Dans cette perspective, nous chercherons à savoir, à partir des variations temporelles articulatoires, qu'elle est la participation de la hiérarchie prosodique à la démarcation de la frontière inférieure syllabique.

Cette démarche pourra peut être permettre d'éclairer les faits relatifs à la resyllabation entre frontière prosodique et de préciser son domaine d'application par l'observation du timing articulatoire inter-gestuel VC, CC et CV<sup>62</sup>.

## Epilogue

*« Pour parler il faut ouvrir la bouche  
après l'avoir ouverte pour parler,  
on la ferme pour se taire. »*

*M. Grammont, 1933*

---

<sup>62</sup> Cf. Meynadier (2001), pour introduction sur la problématique de la syllabation/resyllabation.

---

## **Bibliographie**

- Adams, S. G., Weismer, G. & R. Kent (1993). Speaking rate and speech movement velocity profiles. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 41-54.
- Astésano, C. (1999). *Rythme et discours : invariance et sources de variabilité des phénomènes accentuels en français*. Université de Provence : thèse de doctorat.
- Astésano, C., Bart, E. G. & A. Turk (2002). Functions of the French initial accent: a preliminary study. *Proceeding of the Conference on Speech Prosody*, Aix-en-Provence, 139-142.
- Baum, S. & D. McFarland (1997). The development of speech adaptation to an artificial palate. *Journal of Acoustical Society of America*, 102(4), 2353-2359.
- Beckman, M. (1986). *Stress and Non Stress Accent*. Dordrecht: Foris Publications.
- Beckman, M. & K. B. Cohen (1999). Modeling the articulatory dynamics of two levels of stress contrast. In M. Horne (ed.), *Prosody: Theory and Experiment*, Dordrecht : Kluwer Academic Press, 169-200.
- Beckman, M. & J. Edwards (1994). Articulatory evidence for differentiating stress categories. In P. Keating (ed.), *Papers in Laboratory Phonology III: Phonological Structure and Phonetic Form*, Cambridge : Cambridge University Press, 7-33.
- Beckman, M. & J. Edwards (1992). Intonational categories and the articulatory control of duration. In Y. Tohkura, E. Vatikiotis-Bateson & Y. Sagisaka (eds), *Speech Perception Production and Linguistic Structure*, Tokyo: IOS Press, 359-375.
- Beckman, M. & J. Edwards (1990). Lengthenings and shortenings and the nature of prosodic constituency. In J. Kingston & M. Beckman (eds), *Papers in Laboratory Phonology I: Between the Grammar and the Physics of Speech*, Cambridge: Cambridge University Press, 152-177.
- Beckman, M., Edwards J. & J. Fletcher (1992). Prosodic structure and tempo in a sonority model of articulatory dynamics. In G. Docherty & D. Ladd (eds), *Papers in Laboratory Phonology II: Gesture Segment and Prosody*, Cambridge: Cambridge University Press, 68-86.
- Berkovits, R. (1993). Utterance-final lengthening and duration of final-stop closures. *Journal of Phonetics*, 21(4), 479-490.
- Brichler-Labaeye, C. (1970). *Les voyelles françaises: mouvements articulatoires à la lumière de la radiocinématographie*. Paris : Klincksieck.
- Browman, C. P. & L. Goldstein (1992). Articulatory phonology: an overview. *Phonetica*, 49, 155-180.
- Browman, C. P. & L. Goldstein (1989). Articulatory gestures as phonological units. *Phonology Yearbook*, 6, 201-251.
- Browman, C. P. & L. Goldstein (1986). Towards an articulatory phonology. *Phonology Yearbook*, 3, 219-252.
- Byrd, D. (2000). Articulatory vowel lengthening and coordination at phrasal junctures. *Phonetica*, 57, 3-16.
- Byrd, D. (1996). Influences on articulatory timing in consonant sequences. *Journal of Phonetics*, 24(2), 209-244.
- Byrd, D. (1995). Articulatory characteristics of single and blended lingual gestures. *Proceedings of the 13th International Congress of Phonetic Sciences*, Stockholm, vol. 2, 438-441.
- Byrd, D. & E. Saltzman (1998). Intergestural dynamics of multiple prosodic boundaries. *Journal of Phonetics*, 26, 173-199.
- Byrd, D., Kaun, A., Narayanan, S. & E. Saltzman (2000). Phrasal signatures in articulation. In M. B. Broe & J. B. Pierrehumbert (eds), *Papers in Laboratory Phonology V: Aquisition and the Lexicon*, Cambridge : Cambridge University Press, 70-87.
- Byrd, D., Flemming, E., Mueller, C. & C. Tan (1995). Using regions and indices in EPG data reduction. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 821-827.
- Campbell, W. N. (1992). Syllable-based segmental duration. In G. Bailly, C. Benoit, T. R. Sawallis (eds), *Talking Machines : Theories, Models and Designs*, Amsterdam: Elsevier Publishers , 211-224.

- Cho, T. (1999). Effect of prosody on vowel-to-vowel coarticulation in English. *Proceedings of 14th Congress of Phonetic Sciences*, San Francisco, vol. 1, 459-462.
- Cho, T. (1998). Domain-initial articulatory strengthening in the prosodic hierarchy in Korean. *Proceedings of the 11th Conference on Korean Linguistics*, Hawaii, 363-372.
- Corneau, C. (1998). Analyse phonétique des séquences [tʃ] et [dʒ] en français. *Actes des 22<sup>e</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Martigny, 233-236.
- Crompton, A. (1980). Timing patterns in French. *Phonetica*, 37(4), 235-252.
- Dagenais, P., Lorendo, L. & M. McCutcheon (1994). A study of voicing and context effects upon consonant linguopalatal contact patterns. *Journal of Phonetics*, 22(3), 225-238.
- Delais-Roussarie, E. (1995). *Pour une approche probabiliste de la structure prosodique, étude de l'organisation prosodique et rythmique de la phrase française*. Université de Toulouse-Le-Mirail : thèse de doctorat.
- Delais-Roussarie, E., Rialland, A., Doetjes, J. & J-M. Marandin (2002). The prosody of post-focus sequences in French. *Proceeding of the Conference on Speech Prosody*, Aix-en-Provence, 239-242.
- Delattre, P. (1966). Les dix intonations de base du français. *The French Review*, 40(1), 1-14.
- Delattre, P. (1951). *Principes de phonétique française à l'usage des étudiants anglo-américains*. Middlebury : Middlebury College Publications.
- Delattre, P. (1940a). La force d'articulation consonantique en français. *The French Review*, 14, 220-232.
- Delattre, P. (1940b). Tendances de coupe syllabique en français. In P. Delattre (éd.), *Studies in French and Comparative Phonetics*, The Hague : Mouton, 150-162.
- Delattre, P. (1939). Accent de mot, accent de groupe. *The French Review*, 13(2), 1-6.
- Dell, F. (1995). Consonant clusters and phonological syllables in French. *Lingua*, 95, 5-26.
- Dell, F. (1984). L'accentuation dans les phrases en français. In F. Dell, D. Hirst & J.R. Vergnaud (éds), *Forme sonore du langage*, Paris : Hermann, 65-122.
- Di Cristo, A. (2000a). Vers une modélisation de l'accentuation en français : le modèle. *Journal of French Language Studies*, 10, 27-44.
- Di Cristo, A. (2000b). Interpréter la prosodie. *Actes des 23<sup>e</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Aussois, 13-29.
- Di Cristo, A. (2000c). La problématique de la prosodie dans l'étude de la parole dite spontanée. *Parole*, 15-16, 189-250.
- Di Cristo, A. (1999a). Le cadre accentuel du français, essai de modélisation : 1<sup>ère</sup> partie. *Langues*, 2(3), 184-205.
- Di Cristo, A. (1999b). Le cadre accentuel du français, essai de modélisation : 2<sup>ème</sup> partie. *Langues*, 2(4).
- Di Cristo, A. (1999c). Vers une modélisation de l'accentuation en français : la problématique. *Journal of French Language Studies*, 9, 143-179.
- Di Cristo, A. (1998). Intonation in French. In D. Hirst & A. Di Cristo (eds.), *Intonation Systems : A Survey of Twenty Languages*, Cambridge: Cambridge University Press, 195-218.
- Di Cristo, A. (1985). *De la microprosodie à la l'intono-syntaxe*. Aix-en-Provence : Publications de l'Université de Provence.
- Di Cristo, A. (1980). La fréquence intrinsèque des voyelles en français. *Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix*, 7 : 183-207.
- Di Cristo, A. & D. Hirst (1997). L'accentuation non emphatique en français. In J. Perrot (éd.), *Polyphonie pour Ivan Fonagy*, Paris : L'Harmattan, 71-102.
- Di Cristo, A. & D. Hirst (1996). Vers une typologie des unités intonatives du français. *Actes des 21<sup>e</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Avignon, 219-222.
- Di Cristo, A. & D. Hirst (1993). Rythme syllabique, rythme mélodique et représentation hiérarchique de la prosodie du français. *Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix*, 15, 9-24.
- Dilley, L., Shattuck-Hufnagel, S. & M. Ostendorf (1996). Glottalization of word-initial vowels as fonction of prosodic structure. *Journal of Phonetics*, 24, 223-244.
- Duez, D. (1987). Hiérarchisation des paramètres acoustiques et identification des frontières. *Actes des 18<sup>e</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Hammamet, 221-223.
- Edwards, J. & M. Beckman (1988). Articulatory timing and the prosodic interpretation of syllable duration. *Phonetica*, 45(2-4), 156-174.



- Edwards, J., Beckman, M. & J. Fletcher (1991). The articulation kinematics of final lengthening. *Journal of the Acoustical Society of America*, 89(1), 369-382.
- Engstrand, O. (1989). Towards an electropalatographic specification of consonant articulation in Swedish. *Perilus*, X, 115-156.
- Engstrand, O. (1988). Articulatory correlates of stress and speaking rate in Swedish VCV utterances. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83(5), 1863-1875.
- Erickson, D. (1998). Effects of contrastive emphasis on jaw opening. *Phonetica*, 55(3), 147-169.
- Erickson, D. & O. Fujimura (1996). Maximum jaw displacement in contrastive emphasis. *Proceedings of the 4th International Conference on Spoken Language Processing*, Philadelphia, vol. 1, 141-144.
- Espesser, R. (1996). MES : un environnement de traitement du signal. *Actes des 21<sup>è</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Avignon, 447-450.
- Espesser, R. (1982). Un système de détection de voisement et de F0. *Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix*, 8, 241-261.
- Fant, G., Kruckenberg, A. & L. Nord (1991). Durational correlates of stress in Swedish, French and English. *Journal of Phonetics*, 19, 351-365.
- Farnetani, E. (1997). The phonetic word: the articulation of stress and boundaries in Italian. *Quaderni del Centro Studio per la Ricerche di Fonetica del C.N.R. di Università de Padova*, XVI, 160-171.
- Farnetani, E. & M. Vayra (1996). The role of prosody in the shapping of articulation in italian CV syllables. *Proceedings of the 1st ESCA Tutorial and Research Workshop on Speech Production Modeling: From Control Strategies to Acoustics & 4th Speech Production Seminar: Models and Data*, Autrans, 9-12.
- Farnetani, E. & A. Faber (1992). Tongue-jaw coordination in vowel production: isolated words vs continuous speech. *Speech Communication*, 11, 401-410.
- Flege, J., Fletcher, S. & A. Homiedan (1988). Compensating for bite block in /s/ and /t/ production : palatographic, acoustic, and perceptual data. *Journal of Acoustical Society of America*, 83(1), 212-228.
- Fletcher, J. (1991). Rhythm and final lengthening in French. *Journal of Phonetics*, 19(2), 193-212.
- Fletcher, J. & E. Vatikiotis-Bateson (1990). Prosody and intrasyllabic timing in French. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Australian International Conference on Speech Science and Technology*, Melbourne, 318-323.
- Fletcher, J., Beckman, M. & J. Harrington (1996). Accentual-prominence-enhancing strategies in Australian English. *Proceeding of the 6th Australian International Conference on Speech Science and Technology*, Adelaide, 577-580.
- Fletcher, J., Harrington, J. & J. Hayek (1994). Phonemic vowel length and prosody in Australian English. *Proceeding of the 5th Australian International Conference on Speech Science and Technology*, Perth, 656-661.
- Fletcher, S. (1992). *Articulation: A Physiological Approach*. San Diego: Singular Group.
- Fletcher, S. (1989). Palatometric specification of stop, affricates, and sibilant sounds. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32(4), 736-748.
- Fletcher, S. & D. Newman (1991). [s] and [ʃ] as a function of linguopalatl contact place and sibilant groove width. *Journal of the Acoustical Society of America*, 89(2), 850-858.
- Fletcher, S., McCutcheon, M. & M. Wolf (1975). Dynamic palatometry. *Journal of Speech and Hearing Research*, 18, 812-819.
- Fohr, D. & Y. Laprie (1989). Snorri : an interactive tool for speech analysis. *Proceedings of 1st the European Conference on Speech Technology*, Paris, vol. 1, 613-616.
- Fonagy, I. (1980). L'accent français, accent probabilitaire. *Studia Phonetica*, 15, 123-133.
- Fonagy, I. & J. Fonagy (1983). L'intonation et l'organisation du discours. *Bulletin de la Société de Linguistique de Paris*, 78(1), 161-209.
- Fontdevila, J., Pallarès, M-D. & D. Recasens (1994). The contact index method of electropalatographic data reduction. *Journal of Phonetics*, 22(2), 141-154.
- Fouché, P. (1956). *Traité de prononciation française*. Paris : Klincksieck.
- Fougeron, C. (1998). *Variations articulatoires en début de constituants prosodiques de différents niveaux en français*. Université-Paris III : thèse de doctorat.
- Fougeron, C. & S.-A. Jun (1998). Rate effects on French intonation : prosodic organization and phonetic realization. *Journal of Phonetics*, 26(1), 45-70.

- Fougeron, C. & P. A. Keating (1997). Articulatory strengthening at edges of prosodic domains. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101(6), 3726-3740.
- Fougeron, C., Meynadier, Y. & D. Demolin (2000). 62 vs. 96 electrodes: a comparative analysis of Reading and Kay Elemetrics EPG pseudo-palates. *Proceeding of the 5th Symposium on Speech Production : Models and Data*, Kloster Seeon, cdrom, #013.
- Fujii, I. (1970). Phoneme identification with dynamic palatography. *Annual Bulletin of the Research Institut in Logopedics and Phoniatics of Tokyo*, 4, 67-73.
- Fujii, I., Fujimura, O. & R. Kayaga (1971). Dynamic palatography by use of a computer and an oscilloscope. *Proceedings of the 7th International Congress of Acoustics*, Budapest, vol. 3, 113-116.
- Garde, P. (1968). *L'accent*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gibbon, F. & K. Nicolaidis (1999). Palatography. In W. Hardcastle & N. Hewlett (eds.), *Coarticulation: theory, data and techniques*, Cambridge: Cambridge University Press, 229-245.
- Gibbon, F. & W. Hardcastle (1997). *Bibliography of electropalatographic studies in English*. Edinburgh: Publication of the Department of Speech and Language Sciences of the Queen Margaret College.
- Gibbon, F. Hardcastle, W. & K. Nicolaidis (1993). Temporal and spatial aspects of lingual coarticulation in /kl/ sequences: a cross-linguistic investigation. *Language and Speech*, 36, 261-278.
- Giot, J. (1977). Etudes comparatives de syllabes accentuées et pré-toniques du français sur les plans articulatoires et acoustiques. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, 9, 89-189.
- Goldsmith, J. (1990). *Autosegmental and Metrical Phonology*. Oxford: Blackwell Publisher.
- Gordon, M. (1996). The effect of stress and prosodic phrasing on duration, acoustic amplitude and air flow of nasal consonants in Estonian. *UCLA Working Papers in Phonetics*, 92, 151-159.
- Grammont, M. (1914). *Traité pratique de prononciation française*. Paris : Delagrave.
- Grammont, M. (1933). *Traité de phonétique*. Paris : Delagrave.
- Halle, M. & J.-R. Vergnaud (1987). *An Essay on Stress*. Cambridge: MIT Press.
- Hamlet, S. (1984). Aerodynamic and palatographic characteristics of the early stages speech adaptation to a dental appliance. *Journal of Phonetics*, 12(2), 157-168.
- Hamlet, S. & M. Stone (1978). Compensatory alveolar consonant production induced by wearing a dental protheses. *Journal of Phonetics*, 6(3), 227-248.
- Hamlet, S. & M. Stone (1976). Compensatory vowel characteristics resulting from the presence of different types of experimental dental protheses. *Journal of Phonetics*, 4(3), 199-218.
- Hardcastle, W. (1985). Some phonetic and syntactic constraints on lingual coarticulation during /kl/ sequences. *Speech Communication*, 4(1-3), 247-263.
- Hardcastle, W. (1984). New methods of profiling lingual palatal contact patterns with electropalatography. *Speech Research Laboratory of University of Reading Work in Progress*, 4, 1-40.
- Hardcastle, W. (1976). *Physiology of Speech Production*. London: Academic Press.
- Hardcastle, W. (1972). The use of electropalatography in phonetic research. *Phonetica*, 25(4), 197-215.
- Hardcastle, W. & P. Roach (1977). An instrumental investigation of coarticulation in stop consonant sequences. *Speech Research Laboratory of University of Reading Work in Progress*, 1, 27-44.
- Hardcastle, W., Gibbon, F. & K. Nicolaidis (1991). EPG data reduction methods and their implications for studies of lingual coarticulation. *Journal of Phonetics*, 19(3-4), 251-266.
- Hardcastle, W., Vaxelaire, B., Gibbon, F., Hoole, P. & N. Nguyen (1996). EMMA/EPG study of lingual coarticulation in /kl/ clusters. *Proceedings of the 1st ESCA Tutorial and Research Workshop on Speech Production Modeling: From Control Strategies to Acoustics & 4th Speech Production Seminar: Models and Data*, Autrans, 53-56.
- Hardcastle, W., Jones, W., Knight, C., Trudgeon, A. & G. Calder (1989). New developments in electropalatography: a state-of-the-art report. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 3, 1-38.
- Harrington, J., Fletcher J. & M. Beckman (2000). Manner and place conflicts in the articulation of accent in Australian English. In M. B. Broe & J. B. Pierrehumbert (eds), *Papers in Laboratory Phonology V: Aquisition and the Lexicon*, Cambridge: Cambridge University Press, 40-51.

- Harrington, J., Beckman, M., Fletcher, J. & S. Palethorpe (1998). An electropalatographic, kinematic, and acoustic analysis of supralaryngeal correlates of word-level prominence contrast in English. *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing*, Sydney, 1851-1854.
- Harrington, J., Fletcher, J. & C. Roberts (1995). Coarticulation and the accented/unaccented distinction: evidence from jaw movement data. *Journal of Phonetics*, 23, 305-322.
- Hawkins, S. (1992). An introduction to task dynamics. In G. Docherty & R. Ladd (eds), *Papers in Laboratory Phonology II: Gesture, Segment, and Prosody*, Cambridge: Cambridge University Press, 9-25.
- Hermes, D. & J. van Gestel (1991). The frequency scale of speech intonation. *Journal of Acoustical Society of America*, 90(1), 97-102.
- Hirst, D., Di Cristo, A. & R. Espesser (1999). Levels of description and levels of representation in the analysis of intonation. In M. Horne (ed.), *Prosody: Theory and Experiment*, Dordrecht : Kluwer Academic Press, 51-87.
- Hirst, D. & A. Di Cristo (1998). A survey of intonation systems. In D. Hirst & A. Di Cristo (eds), *Intonation systems: A Survey of Twenty Languages*, Cambridge: Cambridge University Press, 1-44.
- Hirst, D. & A. Di Cristo (1996). Y a-t-il des Unités Tonales en français ? *Actes des 21<sup>e</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Avignon, 223-226.
- Hirst, D. & A. Di Cristo (1984). French intonation: a parametric approach. *Die Neueren Sprache*, 5, 554-569.
- Hsu, C-S. & S-A. Jun (1997). Prosodic strengthening in Taiwanese: syntagmatic or paradigmatic? UCLA Phonetics Laboratory Group: manuscript.
- Jong, de K. (1995). The supraglottal articulation of prominence in English: linguistic stress as localized hyperarticulation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(1), 491-504.
- Jong, de K., Beckman, M. & J. Edwards (1993). The interplay between prosodic structure and coarticulation. *Language and Speech*, 36(2-3), 197-212.
- Jun, S-A. (1993). *The Phonetics and Phonology of Korean Prosody*. Ohio State University: PhD dissertation.
- Jun, S.-A. & C. Fougerson (2000). A phonological model of French intonation. In A. Botinis (ed.), *Intonation: Models and Technology*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 209-242.
- Jun, S.-A. & C. Fougerson (1995). The accentual phrase and prosodic structure of French. *Proceedings of the 13th International Congress of Phonetic Sciences*, Stockholm, vol. 2, 722-725.
- Keating, P. A. (1995a). Segmental phonology and non-segmental phonetics. *Proceedings of the 13th International Congress of Phonetic Sciences*, Stockholm, vol. 3, 26-32.
- Keating, P. A. (1995b). Effects of prosodic position on /t, d/ tongue/palate contact. *Proceedings of the 13th International Congress of Phonetic Sciences*, Stockholm, vol. 3, 432-435.
- Kelso, J., Vatikiotis-Bateson, E., Saltzman, E. & B. Kay (1985). A qualitative dynamic analysis of reiterant speech production: phase portraits, kinematics, and modeling. *Journal of Acoustical Society of America*, 77, 266-280.
- Kent, R. & R. Netsell (1971). Effects of stress contrasts on certain articulatory parameters. *Phonetica*, 24(1), 23-44.
- Kozhevnikov, V. & L. Chistovich (1965). *Speech : Articulation and Perception*. Joint Publication Research Service, Washington: U.S. Department of Commerce, 30-543..
- Krakow, R. A. (1993). Nonsegmental influences on velum movements patterns: syllables, sentences, stress, and speaking rate. *Phonetics and Phonology*, 5, 87-116.
- Krakow, R. A. (1989). *The Articulatory Organization of Syllables: A Kinematics Analysis of Labial and Velic Gestures*. Yale University: PhD dissertation.
- Krakow, R. A., Bell-Berti, F. & Q. E. Wang (1994). Supralaryngeal declinaison: evidence from the velum. In F. Bell-Berti & L. Raphael (eds), *Producing Speech*, New-York : AIP, 333-353.
- Kuzmin, Y. (1962). Mobile palatography as a tool for acoustic study of speech sounds. *Proceedings of the 4th International Congress of Acoustics*, Copenhagen, 1-3.
- Lacheret-Dujour, A. (2000). Prosodie : niveaux d'analyse et problèmes de représentation. In P. Escudier & J.-L. Schwartz (éds), *La parole : des modèles cognitifs aux machines communicantes*, Paris : Hermès, 245-281.
- Lacheret-Dujour, A. & F. Beaugendre (1999). *La prosodie du français*. Editions du CNRS : Paris.
- Ladd, D. R. (1996). *Intonational Phonology*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Ladd, D. R. & W. N. Campbell (1991). Theories of prosodic structure: evidence from syllable duration. *Proceedings of 12th Congress of Phonetic Sciences, Aix-en-Provence*, vol. 2, 290-293.
- Ladefoged, P. (1967). *Three Areas of Experimental Phonetics*. London: Oxford Press University.
- Ladefoged, P., Draper, M. H. & D. Whitteridge (1958). Syllable and stress. *Miscellanea Phonetica*, 3, 1-14.
- Lauefer, C. (1985). *Some Language Specific and Universal Aspects of Syllable Structure and Syllabification: Evidence from French and German*. Ann Arbor: PhD dissertation (University Microfilms International).
- Lehiste, I. (1970). *Suprasegmentals*. Cambridge: MIT Press.
- Léon, P. (1992). *Phonétisme et prononciation du français*. Paris : Nathan.
- Lewis, J., Daniloff, R. & R. Hammarberg (1975). Apical coarticulation at juncture boundaries. *Journal of Phonetics*, 3, 1-7.
- Løevenbruck, H. (2000). Effects articulatoires de l'emphase contrastive sur la Phrase Accentuelle en français. *Actes des 23è Journées d'Etude sur la Parole, Aussois*, 165-168.
- Løevenbruck, H. (1999). An investigation of articulatory correlates of the accentual phrase in French. *Proceedings of 14th Congress of Phonetic Sciences, San Francisco*, 667-670.
- Lieberman, M. & A. Prince (1977). On stress and linguistic rhythm. *Linguistic Inquiry*, 8, 249-336.
- Lindblom, B. (1990). Expaining phonetic variation : a sketch of the H&H theory. In W. J. Hardcastle & A. Marchal (eds), *Speech Production and Speech Modelling* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 403-439.
- Lindblom, B. (1983). Economy of speech gestures. In P. F. MacNeilage (ed.), *The Production of Speech*, New-York: Spinger-Verlag, 217-245.
- Lindblom, B. (1963). Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of Acoustical Society of America*, 35(11), 1773-1778.
- Löfqvist, A. (1975). A study of subglottal pressure during the production of swedish stops. *Journal of Phonetics*, 3, 175-189.
- Macchi, M. (1985). *Segmental and Suprasegmental Features of Lips and Jaw Articulators*. University of New York: PhD dissertation.
- Mair, S. & C. Shadle (1996). Distinctions between [t] and [tʃ] using electropalatography data. *Proceedings of the 4th International Conference on Spoken Language Processing, Philadelphia*, vol. 5, 1597-1600.
- Malécot, A. (1968). The force of articulation of American stops and fricatives as a function of position. *Phonetica*, 18(2), 95-102.
- Malécot A. (1955). An experimental study of force of articulation. *Studia Linguistica*, 9, 35-44.
- Marchal, A. (1988a). *La palatographie*. Marseille : Editions du CNRS.
- Marchal, A. (1988b). Coproduction evidence from EPG data. *Speech Communication*, 7, 287-295.
- Marchal, A. (1985). *L'électropalatographie: contribution à l'étude de la coarticulation dans les groupes d'occlusives*. Université de Nancy II : thèse d'état.
- Marchal, A. (1983). Coarticulatory pattern in stop sequences: EPG evidence. *Proceedings of the 10th International Congress of Phonetic Sciences, Utrecht*, vol. 1, 473.
- Marchal, A. & Y. Meynadier (1996). Coarticulation in /kl/ sequences in French: A multisensor investigation of the timing of lingual gestures. *Proceedings of the 6th Australian International Conference on Speech Science and Technology, Adelaide*, 435-438.
- Marchal, A. & A. Del Negro (1991). Gémiation phonétique en frontière de mots. *Proceedings of 12th Congress of Phonetic Sciences, Aix-en-Provence*, vol. 4, 438-441.
- Marchal, A., Nguyen, N. & W. Hardcastle (1995). Multitiered phonetic approach to speech labelling. In C. Sorin, J. Mariani, H. Meloni & J. Schoentgen (eds), *Levels in Speech Communication: Relations and Interactions*, Amsterdam: Elsevier, 149-157.
- Martin, P. (1987). Prosodic and rhythmic structures in French. *Linguistics*, 25, 925-949.
- Martin, P. (1982). Phonetic realizations of prosodic contour in French. *Speech Communication*, 1, 283-294.
- Martin, P. (1981a). Pour une théorie de l'intonation. In M. Rossi, A. Di Cristo, D. Hirst, P. Martin & Y. Nishinuma (éds), *L'intonation : de l'acoustique à la sémantique*, Paris : Klincksieck, 234-271.
- Martin, P. (1981b). Extraction de la fréquence fondamentale par intercorrélation avec une fonction peigne. *Actes des 12è Journées d'Etude sur la Parole, Montréal*, 221-232.

- Martin, P. (1979). Une théorie syntaxique de l'accentuation en français. *Studia Phonetica*, 15, 1-12.
- Martinet, A. (1965). Accent et tons. In A. Martinet, *La linguistique synchronique* (pp.147-167), Paris : Presses Universitaires de France. [édition de 1970]
- McClellan, M. (1973). Forward coarticulation of velar movement at marked junctural boundaries. *Journal of Speech and Hearing Research*, 16(2), 286-296.
- McFarland, D., Baum, S. & C. Chabot (1996). Speech compensation to structural modifications of the oral cavity. *Journal of Acoustical Society of America*, 100(2), 1093-1104.
- Mertens, P. (1993). Intonational grouping, boundaries and syntactic structure in French. *Proceedings of the ESCA Workshop on Prosody, Lund Working Papers*, 41, 155-159.
- Mertens, P. (1987). *L'intonation du français, de la description linguistique à la reconnaissance automatique*. Université Catholique de Louvain : thèse.
- Meynadier, Y. (2001). La syllabe phonétique et phonologique : une introduction. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence*, 20 : 91-148.
- Meynadier, Y., Fougeron, C. & C. Meunier (1999). Processing of word-initial vowels in French : a production-perception perspective. *Proceedings of 14th Congress of Phonetic Sciences*, San Francisco, vol. 2, 1083-1086.
- Meynadier, Y., Pitermann, M. & A. Marchal (1998a). Effects of contrastive focal accent on linguopalatal articulation and coarticulation in the French [kskl] cluster. *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing*, Sydney, 1871-1874.
- Meynadier, Y., Marchal, A. & M. Pitermann (1998b). Frontière syllabique, accent focal contrastif et coarticulation linguale dans le groupe consonantique /kskl/ en position médiane de mot en français. *Actes des 22<sup>e</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Martigny, 303-306.
- Moen, I. & H. Gram-Simonsen (1997). Effects of voicing on /t, d/ tongue/palate contact in English and Norwegian. *Proceedings of the 5th European Conference on Speech Communication and Technology*, Rhodes, vol. 5, 2399-2402.
- Moon, S-J. & B Lindblom (1994). Interaction between duration, context, and speaking style in English stressed vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 96(1), 40-55.
- Nelson, W. L., Perkell, J. S. & J. R. Westbury (1984). Mandible movement during increasingly rapid articulations of single syllables: preliminary observations. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75(3), 945-951.
- Nespor, M. & I. Vogel (1986). *Prosodic Phonology*. Dordrecht: Foris Publications.
- Nicolaidis, K., Hardcastle, W. & F. Gibbon (1993a). Bibliography of electropalatographic studies in English. *Speech Research Laboratory of University of Reading Work in Progress*, 7, 26-106.
- Nicolaidis, K., Hardcastle, W., Marchal, A. & N. Nguyen-Trong (1993b). Comparing phonetic, articulatory, acoustic and aerodynamic signal representations. In M. Cooke, S. Beet & M. Crawford (eds), *Visual Representations of Speech Signals*, Chichester: Wiley & Sons, 55-82.
- Nishinuma, Y., Di Cristo, A. & R. Espesser (1983). Loudness as function of vowel duration in CV syllables. *Speech Communication*, 2, 167-169.
- Nittrouer, S., Munhall, K., Kelso, J., Tuller, B. & K. Harris (1988). Patterns of interarticulator phasing and their relation to linguistic structure. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84(5), 1653-1661.
- Öhman, S. (1967). Word and sentence intonation. *Quarterly Progress Status Report of the Speech Transmission Laboratory of the Royal Institut of Technology of Stockholm*, 2-3, 20-54.
- Ostry, D. J., Cooke, J. D. & K. G. Munhall (1987). Velocity curves of arms and speech movements. *Experimental Brain Research*, 98, 37-46.
- Parlangeau, N. (1996). AMULET: un système d'annotation automatique des données multisensorielles. *Actes des 21<sup>e</sup> Journées d'Etude sur la Parole*, Avignon, 71-74.
- Padeloup, V. (1990). *Modèle de règles rythmiques du français appliqué à la synthèse de la parole*. Université de Provence : thèse.
- Pierrehumbert, J. (1980). *The Phonology and Phonetics of English Intonation*. MIT: PhD dissertation.
- Pierrehumbert, J. & D. Talkin (1992). Lenition of /h/ and glottal stop. In G. Docherty & R. Ladd (eds), *Papers in Laboratory Phonology II: Gesture, Segment, and Prosody*, Cambridge: Cambridge University Press, 90-117.
- Pierrehumbert, J. & M. Beckman (1988). *Japanese Tone Structure*. Cambridge : MIT Press.

- Pulgram, E. (1970). *Syllable, Wod, Nexus, Cursus*. The Hague: Mouton.
- Pulgram, E. (1965). Consonant cluster, consonant sequence, and the syllable. *Phonetica*, 13(1-2), 76-81.
- Recasens, D. (1984). Timing constraints and coarticulation: alveolo-palatals and sequences of alveolar + [j] in Catalan. *Phonetica*, 41(3), 125-139.
- Recasens, D. (1990). The articulatory characteristics of palatal consonants. *Journal of Phonetics*, 18, 267-280.
- Recasens, D., Fondevila, J. & M. D. Pallarès (1993). An electropalatographic study of stop consonant clusters. *Speech Communication*, 12, 335-355.
- Rietveld, T. & P. van Lieshout (1995). Articulation and accentuation: preliminary results. *Proceedings of the Department of Language and Speech of University of Nijmegen*, 19, 99-104.
- Rochette, C. (1973). *Les groupes de consonnes en français*. Paris : Klincksieck.
- Rossi, M. (1999). *L'intonation, le système du français : description et modélisation*. Paris : Ophrys.
- Rossi, M. (1998). On the role of prosody in automatic speech recognition and understanding. *Journal of the Integrated Study of Artificial Intelligence Cognitive Science and Applied Epistemology*, 15(3), 175-213.
- Rossi, M. (1993). A model for predicting the prosody of spontaneous speech. *Speech Communication*, 13, 87-107.
- Rossi, M. (1985). L'intonation et l'organisation de l'énoncé. *Phonetica*, 42(2-3), 135-153.
- Rossi, M. (1979). Le français, langue sans accent ? *Studia Phonetica*, 15, 13-52.
- Rossi, M., Di Cristo, A., Hirst, D., Martin P. & Y. Nishinuma (1981). *L'intonation : de l'acoustique à la sémantique*. Paris : Klincksieck.
- Rousselot, P. (1897-1901). *Principes de phonétique expérimentale*. Paris : Welter.
- Sabio, F. (1996). *Description prosodique et syntaxique du discours en français : données et hypothèses*. Université de Provence : thèse de doctorat.
- Saltzman, E. & K. G. Munhall (1989). A dynamical approach to gestural patterning in speech production. *Ecological Psychology*, 1, 333-382.
- Séguinot, A. (1976). L'accent d'insistance en français standard. *Studia Phonetica*, 12, 1-58.
- Selkirk, E. (1984). *Phonology and Syntax : The Relation between Sound and Structure*. Cambridge : MIT Press.
- Simon, P. (1967). *Les consonnes françaises : mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie*. Paris : Klincksieck.
- Slis, I. (1971). Articulatory effort and its durational and electromyographic correlates. *Phonetica*, 23(3), 171-188.
- Spiegel, M. R. (1993). *Statistiques : cours et problèmes*. Montréal : McGraw Hill.
- Stetson, R. H. (1928). *Motor Phonetics: a Study of Speech Movements in Action*. Amsterdam: North-Holland Publishing Co. [édition de 1951]
- Stone, M. (1981). Evidence for rhythm pattern in speech production: observations of jaw movement. *Journal of Phonetics*, 9(1), 109-120.
- Straka, G. (1965). *L'Album Phonétique*. Québec : Presses de l'Université de Laval.
- Straka, G. (1964). L'évolution phonétique du latin au français sous l'effet de l'énergie et de la faiblesse articulatoires. *Travaux de Linguistique et de Littérature de Strasbourg*, II, 17-98.
- Straka, G. (1963). La division des sons du langage entre voyelles et consonnes peut-elle être justifiée ? *Travaux de Linguistique et de Littérature de Strasbourg* I, 17-99.
- Su, L., Daniloff, R. & R. Hammarberg (1975). Variation in lingual coarticulation at certain juncture boundaries. *Phonetica*, 32(4), 254-263.
- Summers, van W. (1987). Effects of stress and final-consonant voicing on vowel production: articulatory and acoustic analyses. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82(3), 847-863.
- Troubetzkoy, N. S. (1949). *Principes de phonologie*. Paris : Klincksieck.
- Vaggès, K., Farnetani, E. & E. Magno-Caldognetto (1984). Effects of vowel context and of stress position on the articulation of intervocalic /t/ in Italian: an electropalatographic study. *Quaderni del Centro Studio per la Ricerca di Fonetica del C.N.R. di Università de Padova*, 3, 251-282.
- Vaissière, J. (1992). Rhythm, accentuation and final lengthening in French. In R. Carlson, C. Nord & J. Sunberg (eds), *Music, Language, Brain and Speech*, McMillan Press, 108-120.
- Vaissière, J. (1988). Prediction of velum movement from phonological specifications. *Phonetica*, 49(3-4), 122-139.

- Vatikiotis-Bateson, E. & J. Kelso (1993). Rhythm type and articulation dynamics in English, French and Japanese. *Journal of Phonetics*, 21, 231-265.
- Vatikiotis-Bateson, E. & J. Fletcher (1992). Articulatory correlates of linguistically contrastive events: Where are they?. In Y. Tohkura, E. Vatikiotis-Bateson & Y. Sagisaka (eds), *Speech Perception Production and Linguistic Structure*, Tokyo: IOS Press, 341-357.
- Vayra, M. & C. Fowler (1992). Declination of supralaryngeal gestures in spoken Italian. *Phonetica*, 45, 122-139.
- Verluyten, S.-P. (1982). *Recherche sur la prosodie et la métrique du français*. Université d'Anvers : thèse.
- Vihanta, V. (1993). Focalisations et autres prééminences en français lu et spontané. *Mélanges d'études romanes offerts à Lauri Lindgren*, Turun Yllopisto, 258-289.
- Vincent, M., Dic Cristo, A. & D. Hirst (1995). Prosodic features of finality for units intonation in French discourse. *Proceedings of the 13th International Congress of Phonetic Sciences*, Stockholm, vol. 2, 718-721.
- Wenk, B. & F. Wioland (1982). Is French really syllable-timed? *Journal of Phonetics*, 10(2), 193-216.
- Wightman C., Shattuck-Hufnagel S., Ostendorf M. & P. Price (1992). Segmental durations in vicinity of prosodic phrase boundaries. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91(3), 1707-1717.

---

## ***Annexes***

**Annexe 1** – Petite grammaire de la langue « post-hocquienne »

**Annexe 2** – Mesures articulatoires retenues par la procédure pour la comparaison avec la hiérarchie prosodique en catégories larges

**Annexe 3** – Mesures articulatoires retenues par la procédure pour la comparaison avec la hiérarchie prosodique en catégories étroites

**Annexe 4** – Tableaux récapitulatifs des niveaux prosodiques distingués catégoriellement par les mesures articulatoires effectuées par Fougeron (1998 : 174 et 188)



## Annexe 1 – Petite grammaire de la langue « post-hocquienne »

Nous rendons compte des résultats des comparaisons par paires des catégories (tests post hoc) de la façon suivante. Les catégories sont linéairement ordonnées de façon croissante de gauche à droite selon leur moyenne pour le paramètre considéré.

Les distinctions et les non distinctions sont symbolisées par les signes suivants :

- « < » indique une distinction statistiquement significative ( $p = ,05$ )
- « - » relie deux catégories non significativement distinguées
- « ( ) » indique que la catégorie parenthésée ne se distingue pas des catégories directement contiguës à sa gauche et à sa droite, même si elles sont séparées par « < ».

Ainsi, la série suivante  $A < B-C < D-(E) < F-G$  signifie que

- (1) B et C, comme F et G, ne se distinguent pas significativement, bien que la moyenne de C soit supérieure à celle de B ;
- (2) A se distingue de B-C et de tous les éléments suivants ;
- (3) E ne se distingue pas de D, non plus de F et G, mais qu'il se différencie de B-C.

Le parenthésage annule donc la valeur du signe « < » directement contigu. Il fonctionne identiquement pour un groupe d'élément.

Par exemple,

- (1)  $A < (B-C)-D$  signifie que B et C ne différencient pas de A, à l'inverse de D ;
- (2)  $A < (B-C) < E$  indique que B et C ne se distinguent ni de A ni de E, mais que A et E sont significativement distingués.

Autre exemple,  $A < (B)-(C) < E-F < G$  veut dire que

- (1) B et C ne se distinguent pas, tout comme E et F ;
- (2) A n'est pas différent de B, mais de C ;
- (3) C n'est pas différent de E, ni de F, mais bien de G.

Pour finir, le parentésage indique également, quand c'est possible, les restrictions de non significativité entre des séries d'éléments non distingués.

Par exemple,  $A < B-(C) < (D)-E-F$  indique que

- (1) C ne se différencie pas de B ;
- (2) C ne se distingue pas non plus de D ;
- (3) C se distingue de E, de F et de A.

Autre exemple, la séquence  $A < (B) < (C) < (E-F)-G$  signale que

- (1) B ne se distingue ni de A ni de C ;
- (2) C n'est pas différent de B, ni de E-F, mais bien de G ;
- (3) A se différencie de C, et de E-F et de G.

Dans tout autre cas plus complexe encore, nous aurons recours à un commentaire sur les catégories non significativement distinguées.

Nous nous excusons auprès du lecteur pour ce nouveau langage à assimiler.

Nous n'avons pas trouvé d'autre solution pour rendre compte des résultats généraux des tests post hoc, en dehors d'une présentation classique par tableau de contingence tout aussi difficile à décrypter et que le nombre de tests effectués nous a radicalement interdit d'envisager

**Annexe 2** – Mesures articulatoires retenues par la procédure pour la comparaison avec la hiérarchie prosodique en catégories larges.  
*Colonnes : (1) le n° d'index renvoyant au texte ; (2) « oui » : mesure communément retenue pour HPL et HPE ; (3) position dans la séquence VC#CV ; (4) nom de la mesure ; (5) le groupe de consonnes ; (6) la hiérarchie articulatoire ; (7) locuteur exclu ; (8) ANOVA à un facteur « catégorie prosodique » ; (9-12) « moy,n » : moyenne de la catégorie occupant la position n dans la hiérarchie articulatoire ; (13) écart entre les moyennes des catégories la plus haute et la plus basse dans la hiérarchie prosodique ; (14) Indice de Correspondance Hiérarchique de la mesure pour chaque locuteur*

index	com.	séquence	mesure	gps	comparaisons post hoc	loc exclu	ANOVA : valeur p ; valeur F	moy,1	moy,2	moy,3	moy,4	étendue	iHL: C / M / Y
8	oui	a1	dur.voy	kl	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,280)=80.428	67,1	77,1	93,1	97,8	30,7	0,8 / 1 / 1
9	oui	a1	dur.min	kl	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,280)=42.586	29,7	40,2	50,9	59,8	30,1	1 / 1 / 1
10	oui	a1	pct.min	kl	INA-ACC < ICT < ICC	C exclu	4.078e-08 ; F(3,209)=13.58	41,3	46,3	51,3	58,7	17,4	ns / 1 / 1
11	oui	a1	mct.min	kl	ICT-ICC < ACC < INA		3.331e-16 ; F(3,280)=28.727	7,1	7,4	8,5	13,0	5,8	-0,8 / -0,8 / -0,8
14	oui	a1	dur.voy	kt	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,302)=135.21	61,5	73,5	89,5	93,3	31,8	1 / 0,8 / 1
15	oui	a1	dur.min	kt	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,302)=48.251	30,8	37,2	49,1	53,6	22,8	1 / 1 / 0,6
19	oui	a1	dur.voy	lk	INA < ACC < ICC < ICT		<2.2e-16 ; F(3,305)=218.46	55,5	69,1	90,7	101,8	46,2	0,8 / 0,8 / 0,8
20	oui	a1	dur.min	lk	INA-ACC < ICC < ICT	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,187)=112.86	31,3	31,4	59,7	73,9	42,7	0,8 / inf / 0,8
21	oui	a1	mct.min	lk	ICT < ICC-ACC-INA		1.227e-05 ; F(3,305)=8.8469	2,7	4,3	5,1	5,3	2,7	-0,6 / -0,8 / -0,8
22	oui	a1	dur.voy	tk	INA < ACC < ICC < ICT		<2.2e-16 ; F(3,309)=154.97	75,9	81,6	111,0	115,6	39,7	0,8 / 0,8 / 0,8
23	oui	a1	dur.min	tk	INA-ACC < ICC < ICT		<2.2e-16 ; F(3,309)=57.949	38,1	39,3	60,2	66,2	28,1	0,6 / 0,8 / 0,8
24	oui	a1	mct.min	tk	ICT-ICC < ACC < INA		<2.2e-16 ; F(3,309)=47.145	4,2	4,9	8,0	11,7	7,5	-0,8 / -0,8 / -0,8
44	oui	a1c1	dur.sq	kl	INA-ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,243)=57.553	151,0	153,2	176,5	188,1	37,2	0,8 / 1 / 1
45	oui	a1c1	Dmin.cs	kl	INA < ACC < ICC-ICT	C exclu	4.825e-06 ; F(3,184)=9.8408	30,5	35,5	39,7	40,2	9,7	ns / 0,8 / 0,8
46	oui	a1c1	Pcs.min	kl	ICC < (ICT)-INA-ACC	C exclu	0.0008166 ; F(3,184)=5.8144	106,8	128,6	144,6	151,1	44,3	ns / -0,8 / -0,8
47	non	a1c1	Dmin.max	kl	INA < ACC-ICT-ICC	C exclu	0.0001585 ; F(3,184)=7.0843	51,3	60,6	63,7	65,4	14,0	ns / 0,8 / 0,8
48	oui	a1c1	Pmax.min	kl	ICC-ICT < ACC-INA	C exclu	9.598e-05 ; F(3,184)=7.4754	120,0	137,9	164,7	172,6	52,6	ns / -0,8 / -1
49	oui	a1c1	Dmin.occ	kl	INA < ACC < ICC-ICT		2.647e-06 ; F(3,243)=10.126	43,5	51,7	56,5	57,0	13,6	0,8 / 0,8 / 0,8
50	oui	a1c1	Pocc.min	kl	ICC < (ICT)-INA-ACC	C exclu	0.0008166 ; F(3,184)=5.8144	106,8	128,6	144,6	151,1	44,3	ns / -0,8 / -0,8
51	oui	a1c1	DctCV	kl	INA-ACC < ICT-ICC	C exclu	8.03e-09 ; F(3,184)=15.127	33,5	35,5	38,4	39,9	6,4	ns / 0,8 / 1
63	oui	a1c1	dur.sq	kt	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,299)=91.253	138,1	151,0	168,7	180,3	42,2	1 / 1 / 1
64	oui	a1c1	Pcs.min	kt	ICC-ICT-ACC < INA	Y exclu	3.82e-11 ; F(3,184)=19.815	71,7	83,2	89,6	140,4	68,7	-0,8 / -1 / ns
65	oui	a1c1	min.maxSQ	kt	ICT-(ICC) < (ACC)-INA	C exclu	1.666e-05 ; F(3,235)=8.7228	31,1	33,8	37,1	39,8	8,7	inf / -0,8 / -0,8

## Annexe 2 – Suite a/e

index	com.	Séquence	mesure	gpsc	comparaisons post hoc	loc exclu	ANOVA : valeur p ; valeur F	moy,1	moy,2	moy,3	moy,4	étendue	iHL: C / M / Y
66	oui	a1c1	Pmax.min	kt	ICT-ICC < ACC < INA		3.55e-08 ; F(3,299)=13.318	110,7	116,2	145,5	180,3	69,5	-1 / -1 / -0,6
67	oui	a1c1	Pocc.min	kt	ICC-ICT-ACC < INA	Y exclu	3.82e-11 ; F(3,184)=19.815	71,7	83,2	89,6	140,4	68,7	-0,8 / -1 / ns
74	oui	a1c1	dur.sq	lk	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,302)=120.29	103,9	114,1	147,9	154,9	51,0	1 / 0,8 / 1
75	oui	a1c1	Dvoy.max	lk	INA < ACC-ICT < ICC	M exclu	2.326e-10 ; F(3,186)=18.175	12,6	19,4	20,2	27,5	14,9	0,8 / inf / 1
76	oui	a1c1	min.csSQ	lk	ICC-ICT < ACC-INA	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,186)=33.215	8,3	8,5	12,8	13,9	5,6	-1 / inf / -0,8
77	oui	a1c1	Pcs.min	lk	ICT-ICC < INA-ACC	M exclu	5.132e-11 ; F(3,186)=19.518	17,4	22,1	47,6	55,0	37,6	-0,8 / inf / -0,6
78	non	a1c1	Pmax.min	lk	ICT-ICC < INA < ACC	M exclu	3.696e-08 ; F(3,186)=13.819	36,3	56,9	82,4	110,2	73,9	-0,6 / ns / -0,6
79	oui	a1c1	min.occSQ	lk	ICC-ICT < ACC-INA	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,186)=33.215	8,3	8,5	12,8	13,9	5,6	-1 / inf / -0,8
80	non	a1c1	Pocc.min	lk	ICT-ICC < INA-ACC	M exclu	5.132e-11 ; F(3,186)=19.518	17,4	22,1	47,6	55,0	37,6	-0,8 / inf / -0,6
82	oui	a1c1	dur.sq	tk	INA-ACC < ICT-ICC		<2.2e-16 ; F(3,309)=80.09	142,5	145,7	178,7	185,1	42,6	0,8 / 1 / 1
83	oui	a1c1	Pocc.voy	tk	ICT-ICC-ACC < INA		7.942e-05 ; F(3,309)=7.4446	4,5	4,7	5,7	7,6	3,1	-0,8 / -0,8 / -0,8
84	non	a1c1	min.csSQ	tk	ICT-ICC < INA-ACC	M exclu	4.909e-11 ; F(3,189)=19.512	17,8	19,9	24,4	25,7	7,8	-0,6 / ns / -0,8
85	non	a1c1	min.occSQ	tk	ICT-ICC < INA-ACC	M exclu	4.909e-11 ; F(3,189)=19.512	17,8	19,9	24,4	25,7	7,8	-0,6 / ns / -0,8
88	oui	a2	dur.min	kl	ICT < ICC-ACC < INA	C exclu	2.776e-15 ; F(3,176)=29.119	39,3	52,1	52,6	66,5	27,3	-0,8 / -0,8 / inf
89	oui	a2	dur.voy	kt	ICT-ICC-ACC < INA	C exclu	7.183e-14 ; F(3,238)=24.596	58,3	58,5	62,8	70,1	11,8	inf / -1 / -0,8
90	oui	a2	pct.min	tk	INA < ACC-ICT < ICC	C exclu	5.073e-05 ; F(3,233)=7.8719	45,4	55,8	56,7	64,4	19,0	ns / 0,8 / 0,8
97	non	c1	dur.fer	lk	INA < ACC-ICT < ICC	M exclu	8.686e-09 ; F(3,186)=15.041	11,7	18,9	19,5	25,1	13,4	0,8 / inf / 1
98	oui	c1	iAP.dmx	lk	INA < ACC < (ICT)-ICC	C exclu	9.384e-06 ; F(3,234)=9.1672	1,6	1,8	1,9	2,0	0,4	ns / 0,8 / 0,6
99	non	c1	DAP.occ	lk	ICC-ICT-ACC < INA	C exclu	3.726e-07 ; F(3,234)=11.686	-1,1	-1,0	-0,9	-0,6	0,4	ns / -0,8 / -0,8
100	oui	c1	dur.cs	tk	ACC-(INA) < ICT < ICC	M exclu	3.42e-07 ; F(3,189)=11.958	56,4	60,8	64,0	71,7	15,4	0,8 / inf / 0,8
105	non	c2	dur.ouv	kt	ICT-ICC < INA-ACC	Y exclu	0.0001230 ; F(3,184)=7.282	19,7	21,9	25,2	26,7	6,9	-0,8 / -0,6 / ns
106	oui	c2	dur.fer	tk	ICT-(ICC) < ACC < INA	C exclu	9.434e-08 ; F(3,233)=12.78	16,4	20,4	24,3	29,1	12,7	ns / -0,8 / -0,6
107	oui	c2	pct.fer	tk	ICT-ICC < ACC-INA	C exclu	2.74e-06 ; F(3,233)=10.124	20,6	22,0	27,4	31,5	10,9	ns / -0,8 / -0,8
108	oui	c2	pct..max	tk	INA-(ACC) < (ICC)-ICT	C exclu	0.0007083 ; F(3,233)=5.8674	36,7	44,7	52,1	54,1	17,5	ns / 0,8 / 0,8
111	non	c2a2	Pmax.min	kl	INA < ICC-ACC < ICT	C exclu	0.0001545 ; F(3,176)=7.1218	58,5	85,3	93,0	129,6	71,2	0,8 / 0,8 / inf
114	non	c2a2	Pmin.cs	kt	ICC-ICT < INA-ACC	M exclu	1.672e-09 ; F(3,182)=16.498	40,3	44,5	53,5	56,6	16,3	-1 / inf / -0,8

## Annexe 2 – Suite b/e

index	com.	séquence	mesure	gpcs	comparaisons post hoc	loc exclu	ANOVA : valeur p ; valeur F	moy,1	moy,2	moy,3	moy,4	étendue	iHL: C / M / Y
120	non	c2a2	Dmin.max	lk	INA < ACC-ICC-ICT	M exclu	0.0001914 ; F(3,187)=6.9312	54,6	61,9	64,4	66,2	11,6	0,8 / inf / 0,8
133	non	Cc	dur.CC	kl	ACC-(INA) < ICT < ICC	M exclu	1.63e-08 ; F(3,155)=14.834	116,5	123,6	125,5	140,7	24,2	0,8 / inf / 0,8
138	non	Cc	DCC	kt	ICT-ICC < INA-ACC	C exclu	3.068e-05 ; F(3,235)=8.2538	-35,4	-35,3	-29,7	-27,5	8,0	ns / -0,6 / -0,8
141	oui	Cc	dur.CC	lk	INA-ACC < ICT < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,186)=60.784	125,1	138,7	152,1	168,3	43,2	1 / inf / 1
142	oui	Cc	pctCC2	lk	ICC < ICT-ACC < INA	C exclu	1.058e-12 ; F(3,230)=22.333	56,6	60,6	63,0	67,4	10,8	inf / -0,8 / -1
143	oui	Cc	DAP.dmx	lk	INA-(ACC) < (ICT)-ICC	C exclu	0.0006108 ; F(3,230)=5.9824	2,1	2,2	2,3	2,4	0,3	ns / 0,8 / 0,6
144	oui	Cc	pctCC2	tk	ICC-ICT < ACC-INA		<2.2e-16 ; F(3,309)=30.847	62,8	64,0	70,6	72,2	9,5	-0,6 / -1 / -1
145	oui	Cc	DCC	tk	INA < ACC < ICT-ICC	C exclu	4.682e-10 ; F(3,233)=17.101	-31,7	-25,7	-17,2	-15,3	16,4	ns / 0,8 / 1
146	oui	Cc	pctDCC	tk	INA-<ACC < ICT-ICC	C exclu	1.367e-11 ; F(3,233)=20.081	-24,8	-20,1	-13,5	-11,3	13,6	ns / 0,8 / 1
147	oui	Cc	pctDC1	tk	INA-ACC < ICT-ICC		1.826e-13 ; F(3,309)=23.029	-44,7	-40,7	-26,1	-24,2	20,6	0,6 / 0,8 / 1
148	non	Cc	pctDC2	tk	INA-ACC < ICT-ICC	C exclu	5.312e-09 ; F(3,233)=15.101	-33,6	-28,7	-20,3	-16,8	16,8	ns / 0,8 / 1
149	non	Cc	Dmax	tk	INA-(ACC) < ICT < ICC	M exclu	1.623e-08 ; F(3,189)=14.486	17,1	22,3	23,0	33,8	16,7	0,8 / inf / 1
150	oui	Cc	pctDmaxC2	tk	INA-ACC < ICT-ICC	M exclu	5.465e-05 ; F(3,189)=7.9036	20,4	26,9	29,6	36,0	15,5	0,8 / ns / 1
151	oui	Cc	ctC2.fmxC1	tk	ICC < ICT < ACC-INA		2.713e-10 ; F(3,309)=17.105	35,4	40,3	47,0	49,7	14,3	-0,8 / -0,8 / -1
152	oui	Cc	ctC2.focC1	tk	ICT-ICC < ACC < INA	C exclu	1.867e-11 ; F(3,233)=19.815	35,0	35,2	44,7	51,2	16,2	ns / -0,8 / -1
153	oui	Cc	msk.C1	tk	ICC-ICT < ACC-INA		5.185e-14 ; F(3,309)=24.078	25,3	27,0	40,6	45,2	19,9	-0,6 / -0,8 / -1
154	non	Cc	msk.C2	tk	ICC-ICT < ACC < INA	C exclu	7.373e-08 ; F(3,233)=12.977	17,5	20,4	26,6	32,2	14,7	ns / -0,8 / -1
155	non	Cc	msk.C2oc	tk	ICT-ICC < ACC-INA	C exclu	2.305e-05 ; F(3,233)=8.4767	6,4	6,9	10,9	14,2	7,8	ns / -0,6 / -0,8
184	oui	a1c2	dur.sq	kl	INA-ACC < ICT < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,175)=64.53	198,1	199,9	232,2	250,7	52,6	0,8 / inf / 1
185	oui	a1c2	voy.csSQ	kl	ICT < ICC < INA-ACC	C exclu	1.965e-07 ; F(3,176)=12.499	29,7	30,4	31,4	35,1	5,3	-0,6 / -1 / inf
186	oui	a1c2	Pcs.voy	kl	ICT-ICC < ACC < INA	C exclu	2.220e-15 ; F(3,176)=29.371	67,6	72,0	76,3	104,9	37,3	-0,6 / -1 / inf
187	oui	a1c2	voy.maxSQ	kl	ICT-ICC < ACC-INA	C exclu	4.122e-05 ; F(3,176)=8.1615	36,4	37,9	37,9	42,9	6,5	-0,6 / -1 / inf
188	oui	a1c2	Pmax.voy	kl	ICT-ICC < ACC < INA	C exclu	3.331e-16 ; F(3,176)=31.243	82,8	89,5	92,2	128,5	45,7	-0,8 / -1 / inf
189	oui	a1c2	voy.occSQ	kl	ICT < ICC < (INA)-ACC	C exclu	3.586e-07 ; F(3,176)=11.999	31,9	32,5	33,5	38,0	6,0	-0,6 / -1 / inf
190	oui	a1c2	Pocc.voy	kl	ICT-ICC < ACC < INA	C exclu	4.441e-15 ; F(3,176)=28.662	72,5	76,7	81,3	113,3	40,9	-0,6 / -1 / inf
191	oui	a1c2	min.csSQ	kl	ICT-ICC < ACC-INA		0.0002689 ; F(3,280)=6.5567	43,5	43,5	46,1	47,5	4,1	-0,6 / -0,8 / -0,8

## Annexe 2 – Suite c/e

index	com.	séquence	mesure	gpsc	comparaisons post hoc	loc exclu	ANOVA : valeur p ; valeur F	moy,1	moy,2	moy,3	moy,4	étendue	iHL: C / M / Y
192	oui	a1c2	Pcs.min	kl	ICC-ICT < ACC < INA	C exclu	8.554e-12 ; F(3,209)=20.777	184,2	211,4	245,2	333,6	149,4	ns / -1 / -1
193	non	a1c2	min.maxSQ	kl	ICT-(ICC) < (ACC)-INA		0.001167 ; F(3,280)=5.4591	48,2	48,7	50,4	52,5	4,4	-0,6 / -1 / -0,8
194	oui	a1c2	Pmax.min	kl	ICC-ICT < ACC < INA	C exclu	2.038e-11 ; F(3,209)=20.014	207,0	231,6	269,4	366,8	159,8	ns / -1 / -1
195	oui	a1c2	min.occSQ	kl	ICT-ICC < ACC-INA		0.0002689 ; F(3,280)=6.5567	43,5	43,5	46,1	47,5	4,1	-0,6 / -0,8 / -0,8
196	oui	a1c2	Pocc.min	kl	ICC-ICT < ACC < INA	C exclu	8.554e-12 ; F(3,209)=20.777	184,2	211,4	245,2	333,6	149,4	ns / -1 / -1
201	oui	a1c2	dur.sq	kt	INA-<ACC < ICT < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,182)=125.26	160,0	186,3	208,4	233,6	73,6	1 / inf / 1
202	oui	a1c2	voy.csSQ	kt	ICT < ICC-INA < ACC	M exclu	1.747e-06 ; F(3,182)=10.668	22,4	24,3	25,8	28,0	5,6	-0,6 / inf / -0,6
203	non	a1c2	Pcs.voy	kt	ICT < ICC < ACC < INA		<2.2e-16 ; F(3,302)=31.255	47,6	55,0	64,5	72,0	24,4	-0,6 / -0,8 / -0,6
204	oui	a1c2	voy.maxSQ	kt	ICT-ICC < ACC-INA	M exclu	4.593e-06 ; F(3,182)=9.8886	27,2	28,7	31,5	31,9	4,7	-0,6 / inf / -0,8
205	oui	a1c2	Pmax.voy	kt	ICT < ICC < ACC < INA		<2.2e-16 ; F(3,302)=38.563	60,2	67,5	77,2	89,3	29,0	-0,6 / -0,8 / -0,8
206	oui	a1c2	voy.occSQ	kt	ICT-ICC < ACC-INA	M exclu	2.317e-08 ; F(3,182)=14.245	25,0	26,9	30,6	30,7	5,6	-0,6 / inf / -0,8
207	non	a1c2	Pocc.voy	kt	ICT < ICC < ACC < INA		<2.2e-16 ; F(3,302)=41.52	53,5	61,0	70,9	82,2	28,7	-0,6 / -0,8 / -0,8
208	oui	a1c2	min.csSQ	kt	ICT-(ICC) < ACC < INA		<2.2e-16 ; F(3,302)=36.411	38,0	39,0	40,8	47,3	9,3	-1 / -0,8 / -0,8
209	oui	a1c2	Pcs.min	kt	ICT-ICC < ACC < INA		1.488e-14 ; F(3,302)=25.194	149,0	156,9	197,7	259,2	110,2	-1 / -0,8 / -0,8
210	oui	a1c2	min.maxSQ	kt	ICC-(ICT) < ACC < INA	Y exclu	<2.2e-16 ; F(3,184)=33.976	41,2	41,7	44,1	51,9	10,6	-1 / -0,8 / inf
211	non	a1c2	Pmax.min	kt	ICT-ICC < ACC < INA		1.832e-14 ; F(3,302)=25.015	161,7	168,0	209,3	273,4	111,7	-1 / -1 / -0,8
212	oui	a1c2	min.occSQ	kt	ICT-(ICC) < ACC < INA		<2.2e-16 ; F(3,302)=36.411	38,0	39,0	40,8	47,3	9,3	-1 / -0,8 / -0,8
213	non	a1c2	Pocc.min	kt	ICT-ICC < ACC < INA		1.488e-14 ; F(3,302)=25.194	149,0	156,9	197,7	259,2	110,2	-1 / -0,8 / -0,8
221	oui	a1c2	dur.sq	lk	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,301)=139.83	186,1	202,9	245,1	254,2	68,1	1 / 1 / 1
222	oui	a1c2	Dvoy.cs	lk	INA < ACC < ICT < ICC	C exclu	<2.2e-16 ; F(3,232)=53.469	42,5	49,4	58,3	73,6	31,2	inf / 0,8 / 1
223	oui	a1c2	Pvoy.cs	lk	INA < ACC-ICT < ICC	C exclu	4.843e-13 ; F(3,232)=22.993	47,8	57,1	64,0	77,7	29,9	inf / 0,8 / 1
224	oui	a1c2	Dmin.cs	lk	INA-ACC < ICT < ICC	C exclu	<2.2e-16 ; F(3,232)=52.62	52,9	58,9	69,8	83,0	30,1	inf / 1 / 1
225	oui	a1c2	Pmin.cs	lk	INA < ACC < ICT-ICC	C exclu	3.512e-11 ; F(3,232)=19.287	59,4	67,6	77,0	87,2	27,8	inf / 1 / 1
226	non	a1c2	Pcs.min	lk	ICT-ICC < INA-ACC	M exclu	3.999e-07 ; F(3,187)=11.842	122,8	168,1	256,3	296,1	173,3	-0,6 / ns / -0,6
227	non	a1c2	min.maxSQ	lk	ICT < ICC < ACC-INA	M exclu	6.373e-08 ; F(3,187)=13.357	38,8	42,3	46,1	46,6	7,8	-0,8 / inf / -0,6
228	non	a1c2	Pmax.min	lk	ICT-ICC < INA-ACC	M exclu	2.922e-09 ; F(3,187)=15.962	132,0	181,9	291,0	335,8	203,8	-0,6 / ns / -0,6

## Annexe 2 – Suite d/e

index	com.	séquence	mesure	gps	comparaisons post hoc	loc exclu	ANOVA : valeur p ; valeur F	moy,1	moy,2	moy,3	moy,4	étendue	iHL: C / M / Y
229	non	a1c2	Pocc.min	lk	ICT-ACC < INA-ACC	M exclu	3.999e-07 ; F(3,187)=11.842	122,8	168,1	256,3	296,1	173,3	-0,6 / ns / -0,6
230	oui	a1c2	dur.sq	tk	INA-ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,309)=74.564	204,5	208,4	240,5	258,9	54,4	0,8 / 0,8 / 1
231	oui	a1c2	Dvoy.cs	tk	INA-ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,309)=37.728	36,5	37,8	45,0	56,3	19,8	0,8 / 0,8 / 1
232	non	a1c2	voy.csSQ	tk	INA-(ACC) < ICT < ICC	C exclu	6.263e-10 ; F(3,233)=16.860	17,6	18,7	19,1	22,3	4,8	ns / 0,8 / 1
233	oui	a1c2	Pvoy.cs	tk	INA-ACC < ICT-ICC		<2.2e-16 ; F(3,309)=29.417	38,5	40,9	54,8	59,1	20,6	0,8 / 1 / 1
234	oui	a1c2	Dvoy.max	tk	INA-(ACC) < ICT < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,189)=33.923	59,8	63,0	68,8	86,6	26,8	0,8 / inf / 1
235	oui	a1c2	Dmin.cs	tk	INA-ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,309)=38.730	59,2	61,2	67,6	83,1	23,9	0,8 / 0,8 / 1
236	oui	a1c2	Pmin.cs	tk	INA-ACC < ICT-ICC		5.351e-14 ; F(3,309)=24.052	62,6	66,4	82,0	87,1	24,5	0,8 / 1 / 1
237	oui	a1c2	Dmin.max	tk	INA-(ACC) < ICT < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,189)=36.700	85,6	91,6	94,6	116,5	30,9	0,8 / inf / 1
238	oui	a1c2	Pmax.min	tk	ICT < ICC < ACC-INA	C exclu	2.626e-11 ; F(3,233)=19.525	123,0	174,0	226,9	230,5	107,5	inf / -0,8 / -0,6
239	oui	a1c2	Dmin.occ	tk	INA < ACC-ICT < ICC	M exclu	7.772e-16 ; F(3,189)=29.911	81,1	88,5	88,9	110,3	29,2	0,8 / inf / 1
244	oui	c1a2	Pcs.voy	kl	INA-(ACC) < (ICT)-ICC	M exclu	0.003019 ; F(3,155)=4.8432	63,6	69,8	76,8	78,7	15,2	0,6 / inf / 0,8
245	non	c1a2	Pmax.voy	kl	INA-(ACC) < (ICT)-ICC	M exclu	0.001042 ; F(3,155)=5.6732	87,1	94,5	102,7	110,3	23,2	0,6 / inf / 0,8
246	non	c1a2	Pocc.voy	kl	INA-ACC < ICT-ICC	M exclu	0.003168 ; F(3,155)=4.8057	87,8	91,5	102,2	107,4	19,7	0,6 / inf / 0,8
247	non	c1a2	Pcs.min	kl	INA-ACC-ICC < ICT	M exclu	8.759e-11 ; F(3,155)=19.597	137,4	143,0	155,1	260,9	123,5	0,6 / ns / 0,8
248	oui	c1a2	Pmax.min	kl	INA-ACC-ICC < ICT	M exclu	1.632e-10 ; F(3,155)=19.013	136,8	146,9	158,8	261,3	124,5	0,6 / ns / 0,8
249	non	c1a2	Pocc.min	kl	INA-ACC-ICC < ICT	M exclu	8.759e-11 ; F(3,155)=19.597	137,4	143,0	155,1	260,9	123,5	0,6 / ns / 0,8
256	oui	c1a2	dur.sq	lk	INA-ACC < ICT < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,186)=62.204	208,5	214,6	230,2	248,3	39,7	1 / inf / 1
257	oui	c1a2	Dvoy.cs	lk	INA < ACC < ICC-ICT		<2.2e-16 ; F(3,302)=44.766	88,2	98,3	108,9	111,0	22,8	0,8 / 1 / 1
258	oui	c1a2	Pcs.voy	lk	INA < ACC-ICC < ICT		<2.2e-16 ; F(3,302)=55.059	115,5	149,6	158,3	168,5	53,0	0,8 / 1 / 0,8
259	oui	c1a2	Dvoy.max	lk	INA < ACC < ICT < ICC		<2.2e-16 ; F(3,302)=50.201	106,1	113,1	125,9	130,2	24,1	1 / 1 / 1
260	oui	c1a2	Pmax.voy	lk	INA < ACC < ICC-ICT		<2.2e-16 ; F(3,302)=47.558	139,2	172,0	189,7	191,5	52,2	1 / 1 / 0,8
261	oui	c1a2	Dvoy.occ	lk	INA < ACC < ICC-ICT		<2.2e-16 ; F(3,302)=53.687	97,4	103,8	116,3	116,6	19,2	0,8 / 1 / 1
262	oui	c1a2	Pocc.voy	lk	INA < ACC < ICC-ICT		<2.2e-16 ; F(3,302)=51.042	127,7	157,9	169,5	177,1	49,4	0,8 / 1 / 0,8
263	oui	c1a2	Dmin.cs	lk	INA-ACC < ICC-ICT		9.959e-14 ; F(3,302)=23.592	107,6	113,8	127,6	130,8	23,2	0,8 / 0,6 / 1
264	oui	c1a2	Dmin.max	lk	INA-ACC < ICT-ICC		1.976e-14 ; F(3,302)=24.951	125,5	128,7	145,6	148,9	23,4	1 / 0,8 / 1

## Annexe 2 – Suite e/e

index	com.	séquence	mesure	gps	comparaisons post hoc	loc exclu	ANOVA : valeur p ; valeur F	moy,1	moy,2	moy,3	moy,4	étendue	iHL: C / M / Y
265	oui	c1a2	Dmin.occ	lk	INA < ACC < ICT-ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,186)=41.95	115,9	128,1	143,9	145,3	29,4	0,8 / ns / 1
266	oui	c1a2	Pcs.voy	tk	INA < ICT-ACC < ICC	C exclu	4.278e-11 ; F(3,233)=19.11	97,0	118,8	119,0	130,3	33,2	ns / 0,8 / 1
267	oui	c1a2	Pmax.voy	tk	INA < ICT-ACC < ICC	C exclu	7.455e-10 ; F(3,233)=16.715	122,6	143,3	147,6	158,4	35,8	ns / 0,8 / 1
268	oui	c1a2	Pocc.voy	tk	INA < ACC < (ICT)-ICC	C exclu	1.389e-10 ; F(3,233)=18.116	121,4	145,6	150,1	156,0	34,6	ns / 0,8 / 0,8
269	oui	c1a2	Dmin.cs	tk	INA < (ICT)-ACC < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,189)=38.125	86,4	92,3	93,2	117,1	30,8	1 / ns / 0,8
270	oui	c1a2	Dmin.max	tk	INA-ACC-ICT < ICC	M exclu	<2.2e-16 ; F(3,189)=33.498	106,1	110,8	111,7	138,0	31,9	1 / ns / 0,8

**Annexe 3** – Mesures articulatoires retenues par la procédure pour la comparaison avec la hiérarchie prosodique en catégories étroites.  
*Légende : cf. Annexe 2 ; colonne « commentaires » = commentaires sur les distinctions ou les non distinctions inter-catégorielles dont la « langue post hocquienne » ne peut en exprimer la complexité*

index	com.	séquence	Mesure	gpcs	comparaisons post hoc	commentaires	locexclu	ANOVA: valeur p ; valeur F	moy1	moy2	moy3	moy4	moy5	moy6	moy7	moy8	étendue	iHE : C / M / Y
8	oui	a1	dur.voy	kl	MO < AM < AS < CM < (TN)-CT < TM			<2.2e-16 ; F(6,280)=49.8	67,1	74,3	79,4	88,9	92,6	97,1	103,0		36,0	0,82 / 0,93 / 0,89
9	oui	a1	dur.min	kl	MO-AM < AS-CM < CT-TN < TM			<2.2e-16 ; F(6,280)=26.927	29,7	34,9	44,8	45,9	55,8	56,2	63,5		33,8	0,89 / 0,93 / 0,96
10	oui	a1	pct.min	kl	MO-AM < CM-AS-CT < (TN)-TM		C exclu	1.704e-08 ; F(6,209)=8.7673	41,3	41,5	48,4	51,0	54,3	58,0	59,4		18,1	ns / 0,89 / 0,93
11	oui	a1	mct.min	kl	CT-AS-TM-CM-TN < AM-MO			<2.2e-16 ; F(6,280)=20.09	6,8	6,8	7,3	7,5	7,5	10,5	13,0		6,2	-0,5 / -0,43 / -0,43
14	oui	a1	dur.voy	kt	SY-MO < AM-AS-CM < (TN)-CT < TM			<2.2e-16 ; F(7,302)=66.609	60,0	63,7	69,8	76,5	86,6	89,2	92,4	97,6	37,6	0,94 / 0,83 / 0,9
15	oui	a1	dur.min	kt	MO < SY-AM-AS < CM < (TN)-CT < TM			<2.2e-16 ; F(7,302)=27.218	25,5	34,6	34,8	39,2	45,1	48,7	53,0	58,7	33,2	1 / 0,93 / 0,79
18	oui	a1	dur.voy	lk	SY-MO < AM < AS < TN < TM < (CM)-CT			<2.2e-16 ; F(7,305)=107.40	54,0	57,2	65,8	72,1	84,0	97,4	100,2	103,3	49,3	0,82 / 0,71 / 0,79
19	oui	a1	dur.min	lk	MO < (AS)-SY-AM < TN < CM-CT-TM			<2.2e-16 ; F(7,305)=26.796	30,8	34,7	40,0	40,8	51,8	61,7	62,8	64,4	33,6	0,68 / 0,45 / 0,64
20	oui	a1	mct.min	lk	CM < (CT)-(TM) < TN-AM-AS-MO-SY			0.0006337 ; F(7,305)=3.7619	2,5	2,8	4,3	4,3	5,1	5,1	5,3	5,4	2,9	-0,5 / -0,4 / -0,57
21	oui	a1	dur.voy	tk	SY < AM-AS-MO < TN < CM < TM-CT			<2.2e-16 ; F(7,309)=94.6	66,5	78,8	83,8	84,5	103,7	110,4	118,1	120,9	54,3	0,79 / 0,81 / 0,88
22	oui	a1	dur.min	tk	SY-AM-MO-AS < TN < CM-TM-CT			<2.2e-16 ; F(7,309)=29.713	35,3	36,8	40,7	41,4	52,6	63,4	67,6	68,9	33,6	0,64 / 0,76 / 0,88
23	oui	a1	mct.min	tk	CT-TM < (CM)-(TN) < (MO-AM)-AS < SY			<2.2e-16 ; F(7,309)=46.615	3,8	4,1	4,6	5,8	7,2	7,6	8,4	16,5	12,7	-0,86 / -0,76 / -0,81
46	oui	a1c1	dur.sq	kl	MO-AS-AM < CM < (TN)-CT < TM			<2.2e-16 ; F(6,243)=35.409	151,0	152,8	153,5	172,3	178,8	181,2	196,8		45,8	0,79 / 0,82 / 0,93
47	oui	a1c1	Dmin.cs	kl	MO-AM < TM-AS-CM-CT-TN			3.174e-06 ; F(6,243)=6.3634	31,0	31,6	37,3	37,6	39,1	39,7	40,0		9,0	0,64 / 0,64 / 0,75
48	oui	a1c1	Pcs.min	kl	TM-TN < CT-CM-MO-AM-AS	CT < AM	C exclu	0.005732 ; F(6,184)=3.1592	106,8	106,9	117,3	138,3	144,6	150,8	151,7		44,8	ns / -0,71 / -0,93
49	oui	a1c1	Pmax.min	kl	TN-TM-CT < (CM)-AM-AS-MO		C exclu	0.0006097 ; F(6,184)=4.1646	119,7	120,3	123,3	150,3	163,3	166,9	172,6		52,9	ns / -0,61 / -0,93
50	oui	a1c1	Dmin.occ	kl	MO-AM < TN-TM-CM-CT-AS			1.363e-06 ; F(6,243)=6.727	43,5	47,2	56,0	56,9	57,0	57,1	57,4		13,9	0,64 / 0,61 / 0,39
51	oui	a1c1	Pocc.min	kl	TM-TN < (CT)-CM-MO-AM-AS	CT < AM	C exclu	0.005732 ; F(6,184)=3.1592	106,8	106,9	117,3	138,3	144,6	150,8	151,7		44,8	ns / -0,71 / -0,93
52	oui	a1c1	DctCV	kl	MO-(AM) < (AS)-TN-CM-CT < TM		C exclu	5.73e-09 ; F(6,184)=9.416	33,5	34,9	36,5	38,0	38,4	38,5	41,6		8,1	ns / 0,68 / 0,93
53	non	a1c1	ctC.V	kl	TN < (AS-CT)-CM-TM < AM-MO		C exclu	2.282e-07 ; F(6,184)=7.7046	15,0	17,1	17,9	18,1	19,4	22,7	22,9		7,9	ns / -0,64 / -0,5
62	oui	a1c1	dur.sq	kt	SY < (MO)-AM < AS < CM-CT-TN < TM			<2.2e-16 ; F(7,299)=47.96	135,6	141,5	146,0	155,0	168,3	169,1	171,2	189,6	54,0	1 / 0,76 / 0,98
63	non	a1c1	Pmin.cs	kt	MO-SY < (AM-CM-AS)-TM-CT-TN	AM-CM < TN	C exclu	0.004628 ; F(7,235)=3.0267	30,1	33,3	34,7	34,8	35,8	39,5	40,6	41,3	11,2	ns / 0,64 / 0,43
64	oui	a1c1	Pcs.min	kt	CT-TM-AM-(TN-CM) < AS < MO-SY		Y exclu	1.812e-10 ; F(7,184)=9.9724	69,8	70,3	72,7	73,1	97,0	101,6	136,7	142,6	72,8	-0,8 / -0,62 / inf
65	oui	a1c1	min.maxSQ	kt	TN < (MO-CT-AM-TM)-CM < (AS)-SY	AS = TM-CM	Y exclu	1.420e-06 ; F(7,184)=6.2694	29,1	29,1	30,0	31,5	33,2	34,8	37,9	42,9	13,8	-0,77 / -0,6 / inf
66	oui	a1c1	Pmax.min	kt	TN < (CT-TM-AM-CM)-AS < SY-MO		Y exclu	6.743e-08 ; F(7,184)=7.4997	88,7	91,1	96,9	109,6	125,7	131,5	189,1	199,7	111,0	-0,94 / -0,83 / inf
67	oui	a1c1	Pocc.min	kt	CT-TM < (AM-TN)-CM-AS < MO-SY	TN < AS	Y exclu	1.812e-10 ; F(7,184)=9.9724	69,8	70,3	72,7	73,1	97,0	101,6	136,7	142,6	72,8	-0,8 / -0,62 / inf
68	non	a1c1	ctC.V	kt	TN-CM-TM-CT-(AM-AS) < SY < MO		C exclu	5.452e-07 ; F(7,235)=6.4957	18,1	18,8	18,8	20,6	22,0	22,3	25,2	30,2	12,1	inf / -0,9 / -0,38
75	oui	a1c1	dur.sq	lk	SY-MO < (AM)-AS < TN-CM-CT < TM			<2.2e-16 ; F(7,302)=62.279	101,0	107,2	109,8	117,8	143,7	144,6	151,0	166,2	65,2	0,89 / 0,79 / 0,98
76	oui	a1c1	Dvoy.max	lk	SY-(MO) < (AM-CM)-AS-CT-(TN) < TM		M exclu	1.293e-09 ; F(7,186)=9.1223	11,7	13,6	16,3	18,0	21,8	22,3	25,2	29,8	18,1	0,75 / inf / 1



### Annexe 3 – Suite a/e

index	com.	séquence	Mesure	gpcs	comparaisons post hoc	commentaires	locexclu	ANOVA: valeur p ; valeur F	moy1	moy2	moy3	moy4	moy5	moy6	moy7	moy8	étendue	iHE : C / M / Y
77	oui	a1c1	min.csSQ	lk	TN-CM-TM-CT < AM-AS-MO-SY		M exclu	3.775e-15 ; F(7,186)=14.800	7,8	7,9	8,8	9,0	12,4	13,1	13,3	14,5	6,7	-0,96 / inf / -0,74
78	oui	a1c1	Pcs.min	lk	CM-CT-TN-TM < SY-AM < MO-AS		M exclu	1.830e-13 ; F(7,186)=12.997	15,9	18,8	21,5	22,8	35,2	36,6	62,3	68,7	52,8	-0,64 / inf / -0,6
79	non	a1c1	Dmin.max	lk	SY-MO < (CM-AM)-CT-(TN-AS) < TM		M exclu	9.777e-07 ; F(7,186)=6.4115	22,3	24,3	25,6	26,3	31,7	32,9	34,0	38,8	16,5	0,54 / ns / 0,95
80	oui	a1c1	min.occSQ	lk	TN-CM-TM-CT < AM-AS-MO-SY		M exclu	3.775e-15 ; F(7,186)=14.800	7,8	7,9	8,8	9,0	12,4	13,1	13,3	14,5	6,7	-0,96 / inf / -0,74
84	oui	a1c1	Dur.sq	tk	SY < AM < AS-MO < CM-TN < CT < TM			<2.2e-16 ; F(7,309)=63.708	127,9	140,2	150,1	156,1	167,9	172,2	189,4	197,8	69,8	0,93 / 0,69 / 0,95
85	non	a1c1	voy.occSQ	tk	AM < (TN)-CT-CM-TM-AS-MO < SY		Y exclu	0.0007983 ; F(7,196)=3.7471	0,7	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,2	5,2	4,5	-0,46 / -0,48 / ns
86	oui	a1c1	Pocc.voy	tk	AM < (TN-CT-CM)-TM-AS-MO < SY		Y exclu	1.553e-05 ; F(7,196)=5.2899	1,3	3,8	3,8	3,9	4,5	4,9	5,4	9,2	8,0	-0,64 / -0,55 / ns
87	non	a1c1	Dmin.occ	tk	AM < CM-AS-SY-MO-CT-TN < TM		Y exclu	0.0001882 ; F(7,196)=4.3142	16,0	23,5	25,5	25,6	26,2	27,1	28,0	33,9	17,9	0,89 / 0,38 / inf
90	oui	a2	dur.min	kl	CM < TN-CT-TM-AS-AM < MO		Y exclu	<2.2e-16 ; F(6,176)=30.765	28,8	52,4	53,9	54,1	55,2	55,2	72,6		43,8	-0,39 / -0,61 / inf
91	oui	a2	dur.voy	kt	TN < (CT-AM-CM)-TM < AS-MO-SY		C exclu	7.105e-15 ; F(7,238)=13.782	56,0	57,1	59,2	59,5	61,0	66,5	70,0	70,2	14,2	inf / -0,69 / -0,5
92	non	a2	dur.min	kt	CT-TN < (AM)-TM-(AS-SY-MO) < CM		Y exclu	3.903e-05 ; F(7,184)=4.9538	24,3	25,6	27,3	29,4	31,4	31,5	33,3	35,8	11,5	-0,46 / -0,64 / ns
93	non	a2	Mct.min	kt	CM < (SY-AS-MO-AM)-CT-TM < TN	SY < TM	C exclu	9.327e-06 ; F(7,238)=5.4079	15,5	16,7	17,1	17,3	18,3	18,4	19,6	23,2	7,7	inf / 0,67 / 0,62
94	non	a2	dur.voy	lk	AM-(CM) < (CT-TM)-TN < AS < SY-MO		C exclu	<2.2e-16 ; F(7,236)=20.081	55,5	59,2	60,5	62,4	63,8	68,4	73,5	74,1	18,6	ns / -0,52 / -0,48
95	non	a2	dur.min	tk	CM < (AM-SY-MO)-AS < TN-TM-CT		C exclu	8.603e-07 ; F(7,233)=6.3257	25,5	27,8	27,9	31,3	33,0	38,1	38,6	38,7	13,1	ns / 0,6 / 0,48
96	oui	a2	Pct.min	tk	MO-SY-CM-AM < AS-TN-CT-TM		C exclu	8.38e-06 ; F(7,233)=5.4567	42,4	48,3	49,6	49,7	61,9	63,0	63,6	65,9	23,5	inf / 0,71 / 0,67
105	non	c1	Dur.cs	lk	SY-(MO-AM-CM-AS) < CT < TN < TM		M exclu	9.397e-11 ; F(7,186)=10.236	41,2	47,0	47,3	47,8	51,0	51,7	61,7	70,6	29,4	0,39 / inf / 0,95
106	non	c1	dur.occ	lk	SY < (MO-CM-AM)-CT-AS < TN-TM		M exclu	2.822e-10 ; F(7,186)=9.7655	33,7	39,1	39,6	39,7	43,1	43,3	55,2	56,2	22,5	0,39 / inf / 0,95
107	oui	c1	iAP.dmx	lk	SY < MO-AS-(AM-CM-CT-TM) < TN		C exclu	1.337e-05 ; F(7,234)=5.2771	1,5	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	0,6	ns / 0,57 / 0,57
108	non	c1	reduc.cs	lk	SY < (CM-MO-AM)-CT-(AS) < (TN)-TM		M exclu	4.032e-09 ; F(7,186)=8.6474	350,4	387,4	409,5	409,5	429,8	452,8	532,2	592,3	241,9	0,39 / inf / 0,95
109	oui	c1	Dur.cs	tk	AM-AS < (CM-SY-MO)-(TN) < CT < TM		M exclu	1.073e-09 ; F(7,189)=9.1786	55,3	57,0	58,8	60,6	60,9	65,2	69,2	78,0	22,7	0,64 / inf / 0,69
110	non	c1	vct.ouv	tk	CT-AS < (TN-CM-TM)-(MO-AM) < SY		M exclu	0.0007804 ; F(7,189)=3.7637	5,5	6,3	6,7	6,9	7,5	8,7	9,0	10,1	4,6	-0,75 / inf / -0,62
117	non	c2	Sym.cs	kt	TN-CT-TM < (SY-AM)-(CM-MO) < AS		C exclu	0.0003966 ; F(7,238)=3.98	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	inf / -0,43 / -0,43
118	non	c2	mct.max	kt	AM < (MO)-SY-(CM-AS) < (TN-TM)-CT	MO < AS	M exclu	3.826e-07 ; F(7,182)=6.8046	45,1	51,8	53,6	59,3	60,1	61,9	65,4	66,2	21,1	0,46 / inf / 0,86
119	non	c2	iAP.dmx	kt	AM-(SY) < (MO) < (AS)-(TM-TN-CM) < CT		M exclu	9.52e-08 ; F(7,182)=7.3692	0,5	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	0,7	0,46 / inf / 0,62
120	non	c2	iC.dmx	kt	SY-(AM-MO) < (CM)-AS-CT-TN-TM		M exclu	0.0005362 ; F(7,182)=3.9213	1,6	1,7	1,9	3,9	5,0	5,6	5,8	6,3	4,7	0,51 / inf / 0,62
121	oui	c2	Dur.fer	tk	CM < (CT-TM)-TN < AS-AM-SY-MO	AM = TN	C exclu	2.713e-06 ; F(7,233)=5.8867	14,8	18,0	18,4	22,4	23,8	24,7	28,6	29,6	14,8	ns / -0,74 / -0,64
122	oui	c2	Pct.fer	tk	TM-(CM-CT-TN) < (AS)-AM-SY-MO	AM = TN	C exclu	8.825e-05 ; F(7,233)=4.5595	19,9	20,1	21,1	24,0	26,9	27,9	31,5	31,6	11,7	ns / -0,67 / -0,81
123	non	c2	Vct.fer	tk	AM-SY < (MO-AS)-(CT-TM) < CM-TN		M exclu	9.13e-05 ; F(7,189)=4.6092	5,2	5,6	6,5	6,6	7,4	7,7	8,0	8,4	3,2	0,61 / ns / 0,71
124	oui	c2	pct.max	tk	MO-SY < AM < (AS-TN-CM-CT)-TM		C exclu	0.004289 ; F(7,233)=3.0577	35,1	38,1	43,9	45,6	46,0	53,7	54,5	58,4	23,2	ns / 0,6 / 0,64

### Annexe 3 – Suite b/e

index	com.	séquence	Mesure	gpcs	comparaisons post hoc	commentaires	locexclu	ANOVA: valeur p ; valeur F	moy1	moy2	moy3	moy4	moy5	moy6	moy7	moy8	étendue	iHE : C / M / Y
125	non	c2	Pct.occ	tk	SY-MO-TN < (CM)-(AS-TM-AM) < CT		Y exclu	2.929e-07 ; F(7,196)=6.8549	48,5	52,3	57,1	65,6	69,4	75,3	76,3	77,4	28,9	0,61 / 0,62 / inf
132	non	c2a2	Pmax.voy	kt	MO-(SY) < (AS)-TM-CM-CT-AM-TN		C exclu	4.318e-05 ; F(7,238)=4.8258	52,8	54,7	62,0	63,2	64,1	67,2	67,7	68,6	15,8	inf / 0,43 / 0,76
133	non	c2a2	Dmin.occ	kt	TM < CM-CT-TN-(MO-SY) < (AS)-AM		M exclu	8.231e-07 ; F(7,182)=6.4957	39,2	43,7	43,7	44,4	46,7	47,1	49,5	52,3	13,1	-0,49 / inf / -0,62
138	non	c2a2	DctCV	lk	SY < CM-CT-AS-TN-TM-AM-MO		M exclu	6.217e-14 ; F(7,187)=13.476	34,0	48,8	50,6	50,9	50,9	52,2	52,4	52,9	18,9	0,86 / inf / 0,4
141	non	c2a2	Dmin.cs	tk	CM-(SY-MO) < (AM)-TN-AS-(CT) < TM	TN = MO	M exclu	8.964e-08 ; F(7,189)=7.3594	24,4	25,2	26,7	30,3	31,3	32,0	34,4	39,2	14,8	0,75 / ns / 0,64
157	non	cc	msk.C2oc	kt	AS-SY < (TM-CM)-(AM-TN-MO) < CT		Y exclu	0.003941 ; F(7,184)=3.1217	17,4	19,5	28,0	29,6	32,2	33,2	36,8	44,3	26,9	0,51 / 0,74 / ns
161	oui	cc	Dur.CC	lk	SY < AM-AS-(MO) < CM-CT < TN < TM			<2.2e-16 ; F(7,298)=29.108	122,8	132,0	134,8	138,3	142,3	144,8	152,6	169,9	47,1	0,75 / 0,43 / 1
162	oui	cc	pctCC2	lk	TM < (TN)-CM-(CT-AM) < (AS) < (SY)-MO		C exclu	1.909e-11 ; F(7,230)=10.556	54,9	58,2	60,4	60,7	61,8	64,3	66,2	68,7	13,7	inf / -0,51 / -0,86
163	non	cc	DCC	lk	SY-MO < AS-(TN-AM-CT) < TM-CM	TN < CM	C exclu	6.567e-11 ; F(7,230)=10.055	-7,6	-7,6	2,7	3,4	6,3	6,7	9,4	10,3	17,9	inf / 0,48 / 0,62
164	non	cc	pctDC2	lk	MO-SY < AS-TN-CT-AM-TM-CM		C exclu	7.797e-08 ; F(7,230)=7.258	-7,4	-6,4	4,7	5,1	8,8	9,1	12,4	12,7	20,0	inf / 0,57 / 0,43
165	oui	cc	DAP.dmx	lk	SY < MO-AS-CM-AM-CT-TM-TN		C exclu	0.0009408 ; F(7,230)=3.6531	1,9	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4	0,5	ns / 0,62 / 0,81
166	non	cc	ctC1.dC2	lk	CM < (CT)-TM-TN < AM < SY-AS < MO		M exclu	3.331e-16 ; F(7,186)=15.943	2,6	5,3	10,9	12,4	13,1	23,5	26,2	39,2	36,5	-0,39 / inf / -0,62
167	non	cc	ctC2.focC1	lk	CM-CT-TM < AM-TN-(SY) < (AS)-MO		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,186)=18.965	3,5	8,2	8,9	15,4	16,6	19,2	25,0	31,0	27,5	-0,39 / inf / -0,71
169	non	cc	dur.CC	tk	SY-CM-AS-(AM) < MO < CT-TN < TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=36.012	114,8	114,8	117,0	120,0	126,9	139,0	144,2	162,6	47,8	0,5 / inf / 0,76
170	oui	cc	pctCC2	tk	TM-CM < CT-TN < (AM)-MO-(AS) < SY			<2.2e-16 ; F(7,309)=20.407	59,3	62,3	65,7	66,3	68,7	69,6	72,1	75,0	15,7	-0,68 / -0,81 / -0,9
171	oui	cc	DCC	tk	SY-MO-AS < AM-(CT-TN) < (CM) < TM		C exclu	5.256e-11 ; F(7,233)=10.127	-32,1	-31,3	-30,3	-21,0	-20,7	-19,5	-13,6	-10,9	21,2	ns / 0,48 / 0,9
172	oui	cc	PctDCC	tk	SY-AS-MO < AM-(CT-TN) < (CM) < TM		C exclu	4.744e-13 ; F(7,233)=12.056	-27,3	-24,1	-22,2	-16,1	-15,1	-14,4	-11,9	-8,0	19,3	ns / 0,4 / 0,93
173	oui	cc	pctDC1	tk	SY < (AS)-(MO) < (AM)-CT-TN < CM-TM			7.772e-16 ; F(7,309)=14.128	-49,2	-46,5	-40,6	-33,6	-31,0	-29,6	-21,1	-18,8	30,4	0,5 / 0,62 / 0,9
174	oui	cc	pctDmaxC2	tk	SY-AS-MO < -CT-TN-AM-TM	SY < CM < TM	M exclu	3.562e-05 ; F(7,189)=4.9792	18,5	20,6	22,1	28,8	30,4	33,9	36,3	37,9	19,4	0,54 / ns / 0,74
175	oui	cc	ctC2.fmxC1	tk	TM-(TN) < (CM)-CT-AM-(MO) < (AS)-SY		M exclu	3.976e-10 ; F(7,189)=9.5954	27,3	28,9	35,8	38,9	39,6	43,3	50,0	55,5	28,2	-0,39 / inf / -0,88
176	oui	cc	ctC2.focC1	tk	TM-CT-CM-TN < AS-AM-(MO) < SY		C exclu	5.64e-10 ; F(7,233)=9.1779	33,5	34,6	35,3	36,9	44,2	45,2	47,8	54,5	21,0	ns / -0,4 / -0,95
177	oui	cc	msk.C1	tk	TM-(CM) < (TN)-CT-(AM) < MO < AS-SY			<2.2e-16 ; F(7,309)=15.475	20,0	23,2	30,7	30,8	33,1	40,1	46,8	50,7	30,6	-0,57 / -0,62 / -0,93
213	oui	a1c2	dur.sq	kl	MO-AS-AM < CM-CT-TN < TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(6,175)=45.392	27,2	28,4	29,7	30,6	32,6	32,7	33,3		6,1	0,75 / inf / 1
214	oui	a1c2	voy.csSQ	kl	CM-(CT) < (TM)-(TN) < (AS-MO)-AM		Y exclu	3.393e-06 ; F(6,176)=6.5077	198,1	198,9	201,2	230,6	233,7	235,0	266,9		68,8	-0,54 / -0,86 / inf
215	oui	a1c2	Pcs.voy	kl	CT < (CM)-(TM-TN) < (AS)-AM < MO			<2.2e-16 ; F(6,280)=26.417	63,5	66,0	71,0	71,4	75,1	81,5	101,3		37,8	-0,61 / -0,71 / inf
216	oui	a1c2	voy.maxSQ	kl	CT-(CM) < (TM) < (TN-AS)-AM < MO		Y exclu	0.0002639 ; F(6,176)=4.5503	33,7	35,8	36,0	36,6	38,1	38,7	40,0		6,3	-0,5 / -0,71 / inf
217	oui	a1c2	Pmax.voy	kl	CT-(TM) < (TN)-CM-AS-AM < MO		Y exclu	6.661e-16 ; F(6,176)=17.711	75,6	78,0	85,9	86,5	89,9	95,5	121,8		46,2	-0,71 / -0,68 / inf
218	oui	a1c2	voy.occSQ	kl	CM-CT-(TN-TM) < AS-AM < MO	CM < TM		1.576e-09 ; F(6,280)=9.545	30,2	31,0	32,2	32,7	33,9	34,2	37,2		7,0	-0,54 / -0,82 / -0,43
219	oui	a1c2	Pocc.voy	kl	CT < (CM-TM)-TN-(AS) < AM < MO			<2.2e-16 ; F(6,280)=26.571	68,2	71,1	74,9	75,6	79,5	86,3	108,6		40,4	-0,61 / -0,86 / inf
220	oui	a1c2	min.csSQ	kl	TN-CM-CT-TM < AS-AM-MO			0.001539 ; F(6,280)=3.6867	43,1	43,2	43,7	43,9	45,2	47,1	47,5		4,5	-0,54 / -0,79 / -0,61

### Annexe 3 – Suite c/e

index	com.	séquence	mesure	gpcs	comparaisons post hoc	commentaires	locexclu	ANOVA: valeur p ; valeur F	moy1	moy2	moy3	moy4	moy5	moy6	moy7	moy8	étendue	iHE : C / M / Y
221	oui	a1c2	Pcs.min	kl	TM < (TN-CT-AS)-CM < AM-MO		C exclu	6.843e-12 ; F(6,209)=12.415	181,9	186,4	192,5	215,5	230,3	274,9	333,6		151,7	ns / -0,93 / -0,93
222	oui	a1c2	Pmax.min	kl	CT-TM-TN-(AS) < CM < AM < MO			6.439e-15 ; F(6,280)=15.092	190,0	191,9	192,6	211,7	234,0	287,4	340,9		150,9	-0,68 / -0,93 / -0,82
223	oui	a1c2	min.occSQ	kl	TN-CM-CT-TM-(AS) < AM-MO			0.001539 ; F(6,280)=3.6867	43,1	43,2	43,7	43,9	45,2	47,1	47,5		4,5	-0,54 / -0,79 / -0,61
224	oui	a1c2	Pocc.min	kl	TM < (TN-CT-AS)-CM < AM-MO		C exclu	6.843e-12 ; F(6,209)=12.415	181,9	186,4	192,5	215,5	230,3	274,9	333,6		151,7	ns / -0,93 / -0,93
225	non	a1c2	DctCV	kl	MO AM AS CT CM TN TM		C exclu	1.390e-05 ; F(6,209)=5.789	39,0	44,2	48,2	49,2	49,2	49,4	49,8		10,9	ns / 0,39 / 0,96
233	oui	a1c2	Dur.sq	kt	SY-MO < AM-(AS) < (CM-CT)-TN < TM			<2.2e-16 ; F(7,302)=41.877	163,8	170,0	185,0	193,3	196,7	199,9	204,5	231,2	67,4	1 / 0,52 / 1
234	oui	a1c2	voy.csSQ	kt	CT < TN < (AM)-(TM-CM-AS) < SY-MO		C exclu	4.108e-15 ; F(7,238)=14.013	19,1	24,2	25,4	27,1	27,4	27,4	28,4	29,5	10,4	ns / -0,6 / -0,4
235	oui	a1c2	voy.maxSQ	kt	CT < (TM) < (CM-TN-AM)-AS < SY-MO		Y exclu	3.985e-10 ; F(7,184)=9.6358	26,4	29,0	30,1	30,1	31,4	32,3	36,2	36,7	10,3	-0,43 / -0,55 / inf
236	oui	a1c2	Pmax.voy	kt	CT < (TM)-CM-TN < AS-AM < MO-SY		Y exclu	<2.2e-16 ; F(7,184)=17.439	54,2	61,8	65,8	66,5	77,1	79,3	93,2	98,6	44,4	-0,49 / -0,83 / inf
237	non	a1c2	Dvoy.occ	kt	SY CT CM MO AM AS TN TM		M exclu	2.374e-09 ; F(7,182)=8.897	46,2	50,0	53,8	54,0	55,0	58,1	58,3	68,8	22,7	0,43 / inf / 0,71
238	oui	a1c2	voy.occSQ	kt	CT < TN-(AM) < TM-AS-CM < (SY)-MO		C exclu	<2.2e-16 ; F(7,238)=18.623	21,7	26,7	28,0	29,8	30,2	30,3	32,2	33,9	12,3	inf / -0,5 / -0,69
239	oui	a1c2	min.csSQ	kt	CT < TN-AM-TM-(CM) < AS < SY-MO			<2.2e-16 ; F(7,302)=21.989	35,0	38,5	38,5	39,4	40,9	42,8	46,3	48,5	13,5	-0,83 / -0,69 / -0,67
240	oui	a1c2	Pcs.min	kt	CT-TN-TM-(AM-CM) < AS < SY < MO		Y exclu	<2.2e-16 ; F(7,184)=17.374	121,2	137,1	141,0	164,7	174,0	192,3	248,7	351,0	229,8	-0,57 / -0,81 / inf
241	oui	a1c2	min.maxSQ	kt	CT < (AM)-(TM-TN) < (CM)-AS < MO-SY			<2.2e-16 ; F(7,302)=18.426	39,2	41,7	41,8	41,8	43,1	44,8	49,8	49,9	10,7	-0,83 / -0,69 / -0,52
242	oui	a1c2	min.occSQ	kt	CT < TN-AM-TM-(CM) < AS < SY-MO			<2.2e-16 ; F(7,302)=21.989	35,0	38,5	38,5	39,4	40,9	42,8	46,3	48,5	13,5	-0,83 / -0,69 / -0,67
249	oui	a1c2	Dur.sq	lk	SY < MO < (AM)-AS < TN-CM-CT < TM			<2.2e-16 ; F(7,301)=78.76	36,5	37,6	38,9	38,9	42,6	42,8	43,9	46,9	10,4	0,89 / 0,83 / 0,98
250	oui	a1c2	Dvoy.cs	lk	SY < (MO)-AM-AS < CT-CM < TN < TM			<2.2e-16 ; F(7,301)=26.835	40,1	45,1	50,3	50,6	57,9	58,8	65,0	74,9	34,7	0,68 / 0,52 / 0,95
251	non	a1c2	voy.csSQ	lk	MO-(SY-AS-CT-CM) < AM < TN-TM		C exclu	9.766e-08 ; F(7,232)=7.1648	22,6	23,1	23,4	23,6	23,8	25,5	28,4	29,7	7,1	inf / 0,43 / 0,81
252	oui	a1c2	Pvoy.cs	lk	MO-SY-(AS-AM) < CT-CM < TN < TM		C exclu	1.784e-11 ; F(7,232)=10.571	45,4	50,2	54,6	59,5	63,7	64,3	73,1	82,4	37,0	inf / 0,67 / 0,83
253	non	a1c2	Dvoy.max	lk	SY AM AS MO CM CT TN TM			4.902e-12 ; F(7,301)=10.729	64,0	70,0	73,0	73,5	77,3	80,2	87,4	101,2	37,1	0,61 / 0,44 / 1
254	non	a1c2	Dvoy.occ	lk	SY AS AM MO CM CT TN TM			<2.2e-16 ; F(7,301)=14.988	56,8	63,5	63,5	66,7	72,9	74,5	81,5	94,5	37,7	inf / 0,42 / 0,98
255	oui	a1c2	Dmin.cs	lk	SY < (MO) < (AM)-AS < CM-CT-TN < TM			<2.2e-16 ; F(7,301)=24.697	51,5	53,5	58,7	60,8	67,9	69,1	72,5	84,2	32,8	0,64 / 0,9 / 0,98
256	oui	a1c2	Pmin.cs	lk	MO-SY-(AS-AM) < (CM-CT)-(TN) < TM		C exclu	3.079e-10 ; F(7,232)=9.4237	54,1	64,5	66,3	68,8	76,8	77,1	82,3	92,3	38,2	inf / 0,88 / 0,83
257	non	a1c2	Dmin.max	lk	SY AM MO AS CM CT TN TM			9.808e-11 ; F(7,301)=9.5879	75,4	78,3	81,8	83,2	86,5	91,5	94,9	110,5	35,1	0,57 / 0,48 / 1
258	non	a1c2	Dmin.occ	lk	SY AM AS MO CM CT TN TM			3.442e-15 ; F(7,301)=13.566	68,2	71,8	73,6	75,0	82,1	85,7	89,0	103,8	35,7	inf / 0,48 / 0,98
259	non	a1c2	DctCV	lk	SY CM TN MO AS CT TM AM		M exclu	4.406e-09 ; F(7,187)=8.604	44,8	53,1	58,3	59,3	59,5	59,9	60,6	61,3	16,5	0,79 / inf / 0,57
260	oui	a1c2	Dur.sq	tk	SY < AM-AS < MO-CM < TN < CT < TM			<2.2e-16 ; F(7,309)=57.603	188,2	208,0	208,6	219,6	225,6	243,7	255,5	273,8	85,5	0,93 / 0,62 / 0,95
261	oui	a1c2	Dvoy.cs	tk	SY-(AS) < (AM)-MO-(CM) < CT-TN < TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=22.841	29,2	32,0	40,0	40,4	46,0	49,0	52,5	69,6	40,4	0,54 / inf / 0,93
262	oui	a1c2	Pvoy.cs	tk	SY < (AS)-MO-(AM) < CT-TN < CM < TM			<2.2e-16 ; F(7,309)=19.963	33,8	38,6	42,9	43,6	50,2	50,2	59,5	67,8	34,0	0,39 / 0,81 / 0,9
263	oui	a1c2	Dvoy.max	tk	SY-AS < (MO-CM)-(AM) < (CT)-TN < TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=22.639	56,9	58,6	62,4	63,1	69,3	74,6	78,1	94,8	37,9	0,86 / inf / 0,81

### Annexe 3 – Suite d/e

index	com.	séquence	mesure	gpcs	comparaisons post hoc	commentaires	locexclu	ANOVA: valeur p ; valeur F	moy1	moy2	moy3	moy4	moy5	moy6	moy7	moy8	étendue	iHE : C / M / Y
264	non	a1c2	Pmax.voy	tk	CM CT TN AS TM MO AM SY			<2.2e-16 ; F(7,309)=21.708	51,0	52,9	65,7	68,8	69,3	76,7	77,8	82,9	32,0	inf / -0,76 / -0,57
265	non	a1c2	Dvoy.occ	tk	SY AS MO CM CT AM TN TM		M exclu	4.441e-16 ; F(7,189)=15.713	51,7	54,5	58,5	60,0	66,3	67,7	74,0	86,6	34,9	0,5 / inf / 0,81
266	non	a1c2	Pocc.voy	tk	CT CM TN TM AS MO AM SY			<2.2e-16 ; F(7,309)=18.249	47,6	49,4	63,4	63,5	63,5	71,6	71,8	76,6	29,0	inf / -0,67 / -0,38
267	oui	a1c2	Dmin.cs	tk	SY < AS-AM-(CM-MO) < CT < TN < TM			<2.2e-16 ; F(7,309)=25.200	52,2	61,1	61,3	64,6	65,7	70,5	75,1	90,9	38,7	0,68 / 0,55 / 0,83
268	non	a1c2	Min.csSQ	tk	CM CT TM AM AS TN SY MO		C exclu	7.834e-07 ; F(7,233)=6.3616	33,6	34,3	37,9	39,3	39,9	40,2	40,8	42,6	9,0	inf / -0,36 / -0,62
269	oui	a1c2	Pmin.cs	tk	SY < AS < (AM-MO) < (CT)-TN < CM-TM			<2.2e-16 ; F(7,309)=14.847	56,3	65,9	67,0	68,4	76,4	78,5	87,7	95,5	39,2	0,39 / 0,81 / 0,88
270	non	a1c2	Pcs.min	tk	CM CT TN TN SY AS AM MO		C exclu	5.599e-09 ; F(7,233)=8.2731	107,9	130,6	146,8	192,4	204,6	211,9	221,8	234,2	126,3	ns / -0,6 / -0,5
271	oui	a1c2	Dmin.max	tk	SY < (CM-AS)-MO-(AM) < CT < TN < TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=21.939	80,4	87,7	88,4	90,2	96,3	101,5	110,2	122,6	42,2	0,89 / inf / 0,76
272	non	a1c2	min.maxSQ	tk	CM CT TM TN AM AS SY MO		C exclu	5.846e-09 ; F(7,233)=8.2562	34,0	35,8	39,6	40,6	41,5	41,6	43,1	44,8	10,9	inf / -0,4 / -0,71
273	oui	a1c2	Pmax.min	tk	CM-CT-(TM) < (TN)-(SY-AS-AM) < MO		C exclu	3.290e-10 ; F(7,233)=9.3922	109,1	136,5	153,2	194,2	216,0	220,2	233,5	245,4	136,4	ns / -0,64 / -0,64
274	oui	a1c2	Dmin.occ	tk	SY < AS-CM-(MO) < CT-AM < TN-TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=16.339	75,2	84,3	84,6	86,3	93,3	94,7	106,0	114,4	39,2	0,61 / inf / 0,79
275	non	a1c2	min.occSQ	tk	CM CT TM AM AS TN SY MO		C exclu	7.834e-07 ; F(7,233)=6.3616	33,6	34,3	37,9	39,3	39,9	40,2	40,8	42,6	9,0	inf / -0,36 / -0,62
276	non	a1c2	Pocc.min	tk	CM CT TM TN SY AS AM MO		C exclu	5.599e-09 ; F(7,233)=8.2731	107,9	130,6	146,8	192,4	204,6	211,9	221,8	234,2	126,3	ns / -0,6 / -0,5
277	non	a1c2	DctCV	tk	SY AS CM MO AM TN TM CT		M exclu	1.691e-07 ; F(7,189)=7.1034	58,5	65,5	65,8	65,9	66,0	66,6	71,2	73,0	14,5	0,64 / inf / 0,69
280	oui	c1a2	Pcs.voy	kl	AS-MO < CT-AM-TN-TM-CM	AS = CT	M exclu	0.002982 ; F(6,155)=3.4851	63,1	63,6	73,6	75,2	78,4	79,1	80,2		17,1	0,5 / inf / 0,68
281	oui	c1a2	Pmax.min	kl	AS-MO-CT-TN-AM-TM < CM		M exclu	<2.2e-16 ; F(6,155)=62.77	133,0	136,8	147,5	156,3	157,9	161,2	379,7		246,8	0,5 / inf / 0,5
283	non	c1a2	Dvoy.cs	kt	MO SY CT CM TN AM AS TM		M exclu	1.050e-11 ; F(7,179)=11.268	48,3	50,4	57,9	58,3	58,9	60,7	61,9	69,8	21,5	0,49 / ns / 0,83
294	oui	c1a2	dur.sq	lk	AM-SY < AS-CM-MO-CT < TN < TM			<2.2e-16 ; F(7,302)=23.889	197,5	200,5	211,8	217,6	217,8	219,5	228,5	243,2	45,7	0,96 / 0,62 / 0,98
295	oui	c1a2	Dvoy.cs	lk	SY < MO-AM-AS < TN-(CT-TM) < CM			<2.2e-16 ; F(7,302)=26.378	80,3	97,1	98,2	98,4	106,2	109,3	111,6	112,8	32,6	0,43 / 0,52 / 0,88
296	oui	c1a2	Pcs.voy	lk	SY < MO < AS < TN < CT-AM-TM-CM		C exclu	<2.2e-16 ; F(7,234)=38.138	98,8	119,4	133,9	151,6	164,1	164,5	169,9	174,8	76,0	inf / 0,69 / 0,55
297	oui	c1a2	Dvoy.max	lk	SY < AM-MO-AS < CT-TN-CM < TM			<2.2e-16 ; F(7,302)=29.430	99,9	112,8	113,1	113,4	123,2	124,5	128,7	135,9	36,0	0,68 / 0,76 / 0,88
298	non	c1a2	voy.maxSQ	lk	SY MO AS TN TM CT AM CM		C exclu	<2.2e-16 ; F(7,234)=16.956	49,1	50,1	53,1	54,1	55,3	55,4	57,2	58,8	9,6	inf / 0,38 / 0,48
299	oui	c1a2	Pmax.voy	lk	SY-(MO) < AS < TN-CT < (AM)-TM-CM		C exclu	<2.2e-16 ; F(7,234)=29.584	126,4	140,1	153,7	180,8	187,7	189,4	202,4	202,7	76,2	inf / 0,83 / 0,67
300	oui	c1a2	Dvoy.occ	lk	SY < AM-MO-AS < TN-(CT) < (CM)-TM			<2.2e-16 ; F(7,302)=31.916	91,3	103,2	104,2	104,3	112,1	115,0	118,2	120,5	29,2	0,57 / 0,52 / 0,88
301	non	c1a2	voy.occSQ	lk	SY MO TN TM AS CT AM CM		C exclu	2.220e-16 ; F(7,234)=15.334	45,4	46,2	48,5	49,1	49,3	51,5	52,3	53,6	8,3	inf / 0,38 / 0,4
302	oui	c1a2	Pocc.voy	lk	SY-MO < AS < TN-(AM-CT) < TM-CM		C exclu	<2.2e-16 ; F(7,234)=30.718	116,7	129,1	142,8	162,1	172,9	174,0	179,8	184,2	67,5	inf / 0,74 / 0,55
303	oui	c1a2	Dmin.cs	lk	SY < AS-MO-AM < CT-(TN-TM) < CM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,186)=27.180	97,7	122,3	125,2	126,0	135,8	137,1	138,8	143,8	46,1	0,43 / inf / 0,86
304	oui	c1a2	Dmin.max	lk	SY < AS-MO-AM < CT-(TN) < (CM)-TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,186)=33.093	112,3	137,8	141,1	141,7	151,0	154,8	160,8	165,2	52,9	0,75 / inf / 0,86
305	oui	c1a2	Dmin.occ	lk	SY < AS-AM-MO < CT-(TN) < (CM)-TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,186)=34.476	102,7	126,5	130,3	131,6	140,0	141,5	148,0	149,0	46,3	0,71 / inf / 0,9
306	non	c1a2	dur.sq	tk	AM CM AS SY MO CT TN TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=41	180,0	182,9	186,4	187,1	208,1	213,8	219,2	237,0	57,0	0,54 / inf / 0,64

### Annexe 3 – Suite e/e

index	com.	séquence	mesure	gpcs	comparaisons post hoc	commentaires	locexclu	ANOVA: valeur p ; valeur F	moy1	moy2	moy3	moy4	moy5	moy6	moy7	moy8	étendue	iHE : C / M / Y
307	non	c1a2	Dvoy.cs	tk	SY CM AS AM MO CT TN TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=21.218	61,7	67,1	70,9	71,0	76,1	80,0	85,0	91,6	29,9	0,61 / inf / 0,76
308	oui	c1a2	Pcs.voy	tk	MO-SY < AS-(CT-CM-AM) < TN-TM		C exclu	6.324e-11 ; F(7,233)=10.053	89,4	104,3	113,3	115,5	122,3	124,6	127,3	133,3	43,9	inf / 0,43 / 0,83
309	non	c1a2	Dvoy.max	tk	SY CM AM AS MO CT TN TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=22.968	81,5	83,7	87,7	89,1	95,7	102,3	104,0	114,2	32,7	0,57 / inf / 0,79
310	oui	c1a2	Pmax.voy	tk	MO-SY < CM < (CT-AS-TN)-(AM) < TM			1.002e-08 ; F(7,309)=7.8374	124,4	125,5	139,5	143,6	143,8	149,2	152,6	157,4	33,0	0,39 / 0,6 / 0,74
311	non	c1a2	Dvoy.occ	tk	SY AM CM AS MO TN CT TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=24.183	79,0	87,0	87,3	93,9	95,0	104,0	109,6	111,2	32,2	0,5 / inf / 0,86
312	oui	c1a2	Pocc.voy	tk	SY-MO < CM-AS-AM-TN-CT-TM			7.32e-09 ; F(7,309)=7.9536	122,3	122,5	142,5	145,4	146,4	147,9	148,7	153,1	30,8	0,39 / 0,62 / 0,86
313	oui	c1a2	Dmin.cs	tk	SY-CM < AS-MO-AM < CT-TN < TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=31.524	79,4	80,4	92,0	92,6	95,0	104,2	110,2	123,8	44,4	0,71 / ns / 0,76
314	oui	c1a2	Dmin.max	tk	CM-SY < AS-AM-MO < CT-TN < TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=31.731	96,9	99,2	110,2	111,7	112,2	126,5	129,2	146,4	49,5	0,71 / ns / 0,76
315	non	c1a2	Dmin.occ	tk	SY CM AM MO AS TN CT TM		M exclu	<2.2e-16 ; F(7,189)=34.109	96,7	100,6	111,0	111,5	115,0	129,2	133,8	143,4	46,7	0,75 / ns / 0,81

**Annexe 4 – Tableaux récapitulatifs des niveaux prosodiques distingués catégoriellement par les mesures articulatoires effectuées par Fougeron (1998 : 174 et 188). A suivre**

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 < Gii	Mi-GAi < GLi
/s/ %	Mi-GAi < GLi-Pi-Si	Mi < GAi -GLi-Pi ; Si < GAi-Pi
/l/ %	Si < Mi < GAi-Gii	Si < Mi < GAi-GLi
/i/ %	Mi < GAi-Gii	Mi < GAi-GLi
F2	∅	Mi < GAi-GLi
F3	Mi < GAi < Gii	Mi < GAi < GLi
glottalisation	Mi < GAi < Gii	Mi < GLi < GAi

= 9 comparaisons \* 2 locuteurs

Débit	Locuteur 1F	Locuteur 2M	Locuteur 3F	Locuteur 4F
/ana/	Si-Mi-GAi > GLi	Si-Mi-GAi > Gii	Mi-GAi > GLi	Si-Mi-GAi < GLi
/ini/	Si-Mi-GAi > GLi	Si > Mi-GAi > Gii	Si-Mi-GAi > GLi	(GAi < GLi)
/A\$/	∅	Mi > GAi-Gii	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 /ã/ 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 /ã/ 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 /ã/ 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%)

## Annexe 4 – Suite<sup>63</sup>

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.

durée de l'occlusion linguale		
EPG	Locuteur 1F	Locuteur 2M
/n/	Si, Mi < GAi < GIi, Pi	Si < GAi < GIi, Pi ; Mi < GIi, Pi
/t/	Si < Mi, GAi < GIi < Pi	Si, Mi < GAi < GIi, Pi
/k/	Mi, GAi < GIi	Mi, GAi < GIi

durée de la nasalisation				
Débit	Locuteur 1F	Locuteur 2M	Locuteur 3F	Locuteur 4F
/ana/	Ns	Si, Mi < GAi, GIi	ns	Si, Mi < GAi, GIi
/ini/	Si, GAi > Mi, GIi	Si, Mi, GAi > GIi	Si, GAi > Mi, GIi	Si > GAi > Mi > GIi

<sup>63</sup> Nous remercions Cécile Fougeron de nous avoir fournis ces tableaux récapitulatifs.







---

**Résumé** Les travaux en production de la parole rendent compte d'un renforcement de l'articulation et d'une réduction de la coarticulation supraglottique des segments graduels selon le niveau hiérarchique de la prééminence et de la frontière dans la structure prosodique de l'énoncé. Cette étude concerne l'influence sur la dynamique articulatoire linguopalatale d'une hiérarchie prosodique de quatre niveaux croissants de frontière occupant une position médiane dans une séquence aC#Ca, composée des groupes de consonnes linguopalatales /kl/, /kt/, /lk/ et /tk/. Seulement 10 % des mesures électropalatographiques effectuées dans la séquence rapportent une co-variation articulatoire homogène inter-individuellement et catégorielle selon le niveau de la frontière prosodique. Plus la frontière démarque un constituant prosodique de niveau élevé : (i) plus l'articulation de la voyelle finale est renforcée par une ouverture linguopalatale plus longue et plus ample ; (ii) plus la cohésion articulatoire au sein de la rime de la syllabe finale est accrue par une coordination inter-gestuelle plus étroite entre la voyelle et la consonne codaique ; (iii) plus la démarcation frontalière est renforcée par une coproduction inter-consonantique plus réduite et un délai articulatoire plus important entre la consonne codaique pré-frontalière et la voyelle de la syllabe initiale post-frontalière. Ces corrélats articulatoires de la structure prosodique répondent essentiellement à deux ou trois niveaux hiérarchiques de frontière prosodique. Les co-variations supraglottiques accompagnent de façon moins en moins privilégiée, c'est-à-dire systématique, les distinctions prosodiques hiérarchiques suivantes : tout d'abord, (i) frontière de groupe intonatif *vs* frontière de groupe accentuel, de mot ou de syllabe inaccentuée ; puis, (ii) frontière de groupe accentuel *vs* frontière de mot ou de syllabe inaccentuée ; enfin, (iii) frontière de groupe intonatif conclusif *vs* frontière de groupe intonatif continuatif.

---

**Title** Interaction between prosody and linguopalatal (co)articulation in French

---

**Abstract** Studies in speech production have reported articulatory strengthening and coarticulatory reduction of supralaryngeal gestures that gradually follow the hierarchical level of prominence or boundary in the prosodic structure of the utterance. The work presented here concerns the effect of a four-level hierarchy of prosodic boundary on linguopalatal articulatory dynamics in French. These boundaries were placed in median position in aC#Ca sequences including four types of consonant clusters: /kl/, /kt/, /lk/ and /tk/. Only 10 % of the 712 electropalatographic measurements done on the V and C segments and VC, CV and CC portions of the sequences show an articulatory co-variation increasing inter-individually (for at least two the three speakers) and gradually according to the hierarchical level of the prosodic boundary. The stronger the prosodic boundary between constituents is, (i) the more the final vowel in the constituent is strengthened by an increase of its duration and the amplitude of its linguopalatal opening; (ii) the more the articulatory cohesion inside the rime of the final syllable is increased by a closer coordination between the vowel and the coda consonant gestures; (iii) the more the boundary demarcation is strengthened by a reduction of the coproduction in the consonant cluster and by a larger articulatory timing between the pre-boundary coda consonant and the vowel of the post-boundary CV syllable. These articulatory correlates of the prosodic structure essentially account for two or three hierarchical levels of the prosodic boundary. The supralaryngeal co-variations reflect less and less systematically the prosodic distinction in the following order: (i) first, intonational-group boundary *vs* accentual-group, unaccented-word, or -syllable boundaries; (ii) second, accentual-group boundary *vs* unaccented-word or -syllable boundaries; (iii) then, terminal intonational boundary *vs* non terminal intonational boundary.

---

**Formation doctorale** Langage et Parole

**Discipline** Phonétique

---

**Mots-clés** hiérarchie prosodique – coarticulation – groupe de consonnes – électropalatographie

---

**Adresse** Laboratoire Parole et Langage, UMR 6057 CNRS  
Université de Provence  
29 avenue Robert Schuman  
F - 13621 Aix-en-Provence cedex 1  
Tél +33 (0)4 42 95 36 19 – Fax +33 (0)4 42 59 50 96



---

**Contact** [yohann.meynadier@lpl.univ-aix.fr](mailto:yohann.meynadier@lpl.univ-aix.fr)