

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

Effets des facteurs biologiques hormonaux sur la performance langagière

par  
Charles Lamoureux

Département de linguistique et de traduction  
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès arts  
en Linguistique

Décembre 2007

© Charles Lamoureux, 2007



## Résumé et mots clés

Cette recherche présentée sous forme de trois articles examine la possibilité que plusieurs aspects reliés à la variation intra-sexuelle de la performance verbale découlent de facteurs biologiques hormonaux plutôt que de facteurs sociaux. Par rapport aux études antérieures, la présente recherche est la première à explorer un ensemble de variables dans le but d'évaluer la portée relative des effets hormonaux sur la performance verbale. Pour observer ces effets, on a effectué des mesures morphométriques et des mesures de taux de testostérone salivaire auprès de 40 sujets mâles âgés entre 20 et 27 ans. Ces sujets ont participé à des tâches de production de syllabes, de lecture et d'accès lexical, à partir desquelles on a analysé diverses variables de la parole, de la voix et des habiletés verbales. Les résultats indiquent des corrélations fluctuantes pour les aspects morphométriques. En revanche, les analyses révèlent des corrélations systématiques entre le taux de testostérone et les variables langagières reliées à la temporalité, en plus de confirmer des liens avec les paramètres de fréquence fondamentale et certaines performances d'accès lexical. Les effets accélérateurs de la testostérone sur les aspects temporels comportent des implications sur les composantes motrice, cognitive, discursive et sociale du comportement langagier.

Mots clés : Parole, voix, accès lexical, testostérone, morphométrie, temporalité.

## **Abstract and keywords**

This research, presented in three articles, examines the possibility that many aspects relating to within-sex variation in verbal performance are based on biological rather than sociological factors. Compared to previous studies, the present research is the first to explore a set of variables in order to evaluate the relative impact of hormonal effects on language performance. To observe these effects, morphometric measures and salivary testosterone levels were assessed in 40 male subjects aged between 20 and 27 years. The subjects also performed several tasks bearing on syllable production, reading and lexical access, from which various aspects of speech, voice and verbal abilities were analysed. Results indicate inconsistent correlations regarding morphometric variables. However, the analyses revealed systematic relationships between testosterone levels and aspects of language related to timing, and confirmed hormonal effects on fundamental frequency and certain types of lexical access. The accelerating effects of testosterone on temporal aspects of speech bear implications on motor, cognitive, discursive and social components of language behaviour.

**Keywords:** Speech, voice, lexical access, testosterone, morphometry, timing.

## Table des matières

Liste des tableaux .....	vi
Liste des figures .....	vii
Liste des sigles et abréviations .....	viii
Remerciements .....	ix
1. Introduction .....	1
1.1. Pertinence d'une étude sur les effets de la testostérone sur la performance langagière .....	1
1.2. Remarques terminologiques .....	2
2. Recension de la littérature .....	5
2.1. Différences langagières reliées au genre .....	5
2.2. Théories sociologiques de la variation linguistique reliée au genre .....	7
2.3. Problèmes théoriques découlant des interprétations sociolinguistiques .....	8
2.4. Facteurs biologiques pouvant affecter la parole et le langage .....	9
2.4.1. Effets sur la voix .....	10
2.4.2. Effets sur la parole .....	13
2.4.3. Effets sur les habiletés verbales .....	15
3. Objectif de l'étude et hypothèses de recherche .....	19
4. Problèmes méthodologiques causés par la variabilité de la testostérone .....	22
4.1. Variabilité découlant des caractéristiques du sujet .....	22
4.2. Variabilité découlant de substances interférentes .....	23
4.3. Variabilité découlant de cycles temporels .....	23
5. Avantages d'utiliser la testostérone salivaire en recherche expérimentale .....	25
6. Méthodologie .....	26
6.1. Sujets et procédure de recrutement .....	26
6.2. Procédures, analyse et instrumentation .....	27
6.2.1. Prélèvement de salive .....	28
6.2.2. Mesures morphométriques .....	29
6.2.3. Mesures de performance langagière .....	30
7. Présentation des articles .....	35
7.1. Article 1 : <i>Linking testosterone, physiological dimensions, and speech behavior: A preliminary report</i> .....	36
7.2. Article 2 : <i>Effects of testosterone levels on temporal and intonational aspects of speech: More exploratory data</i> .....	48
7.3. Article 3 : <i>Effects of testosterone levels on lexical access: Results and methodological considerations for future research</i> .....	52
8. Résultats .....	64
9. Discussion .....	68
10. Conclusion et prospective de recherche .....	75
11. Bibliographie .....	76

## Liste des tableaux

Tableau 1. *Variables langagières qui diffèrent selon le sexe des individus.*

Tableau 2. *Mesures des variables langagières de la première tâche.*

Tableau 3. *Mesures des variables langagières de la deuxième tâche.*

Tableau 4. *Coefficients de corrélation et taux de probabilité d'erreur entre les variables biologiques et les variables langagières.*

### Dans l'Article 1

Table 1. *Pearson coefficients between testosterone levels and duration variables.*

## Liste des figures

### Dans l'Article 1

Figure 1. *Example of temporal and spectral measurements.*

### Dans l'Article 2

Figure 1. *Relationships between salivary testosterone levels and various F0 measures.*

Figure 2. *Speech rate as a function of salivary testosterone levels.*

### Dans l'Article 3

Figure 1. *Data plots for the number of words retrieved on PVF and SVF tasks as a function of salivary testosterone levels.*

Figure 2. *Average number of words retrieved for the three PVF and SVF trials.*

## Liste des sigles et abréviations

AP : associations phonologiques  
AS : associations sémantiques  
cm : centimètre  
Dispers. : dispersion  
Dur. : durée  
ét coll. : et collègues  
Étend. : étendue  
F0 : fréquence fondamentale  
F1 : premier formant  
F2 : deuxième formant  
FAM : fréquence d'amplitude maximale  
fric. : fricative  
GI : groupe intonatif  
Hz : hertz  
IMC : indice de masse corporelle  
kg : kilogramme  
kHz : kilohertz  
L : litre  
Long. : longueur  
M : moyenne  
Max. : maximum  
Min. : minimum  
mL : millilitre  
msec. : milliseconde  
n : nombre de sujets  
occl. : occlusive  
p : taux de probabilité d'erreur  
p. ex. : par exemple  
pg : picogramme  
pH : potentiel d'hydrogène  
pmol : picomole  
r : coefficient de corrélation  
ratio I/A : ratio index/annulaire  
taux T : taux de testostérone  
Var. : variance  
VOT : *voice onset time*  
voy. : voyelle  
° : degré  
°C : degré Celsius  
% : pour cent  
± : écart-type



## Remerciements

Merci à toute l'équipe du Laboratoire de sciences phonétiques pour l'aide apportée à la réalisation de ce projet.

Merci aussi à ma famille et à mes amis pour leur patience, leur appui et leurs encouragements.

*Voor Sjoeke. Wees gelukkig.*

## 1. Introduction

### 1.1. Pertinence d'une étude sur les effets de la testostérone sur la performance langagière

Plusieurs travaux ont fait état de facteurs génétiques pouvant sous-tendre la capacité langagière humaine. Par exemple, il a été démontré que des mutations du gène FOXP2 sont liées à des troubles tels que la dyspraxie verbale (Vargha-Khadem et coll., 2005). D'autres facteurs du même ordre, comme ceux qui sont relatifs à l'exposition aux hormones, peuvent avoir des effets tout aussi déterminants sur la capacité langagière. Ainsi, des études suggèrent qu'une surexposition à la testostérone avant la naissance augmente les risques d'autisme, un trouble du développement caractérisé entre autres par des déficiences graves dans la communication verbale et les interactions sociales (Manning et coll., 2001a; de Bruin et coll., 2006). En considérant de tels cas, on peut s'interroger sur l'étendue des effets des facteurs hormonaux sur la communication.

Cette question devient particulièrement pertinente dans le contexte d'une population vieillissante. Selon les dernières prévisions des *Nations Unies* (2007), on estime que 26,2 % de l'humanité aura plus de 60 ans en 2050, contre 11,6 % en 2005, ce qui constitue une hausse d'environ 15 % en 45 ans. Le vieillissement démographique entraînera vraisemblablement une augmentation du nombre de personnes atteintes de maladies telles que l'Alzheimer, le diabète et l'ostéoporose. Ces maladies se caractérisent par des symptômes différents, mais elles ont toutefois un point en commun : elles sont reliées à la condition hormonale. De plus, elles sont parfois traitées par l'administration d'hormones synthétiques (Webber et coll., 2006; Borges-Martins et coll., 2005; Chapurlat et coll., 2001). Bien qu'elle soit critiquée par certaines études, l'hormonothérapie, également utilisée pour compenser les pertes de mémoire ou les dérangements d'humeur, est une pratique médicale courante.

Comme d'autres traitements hormonaux, l'administration de testostérone est de plus en plus fréquente. Par exemple, un rapport publié par *IMS Health*, une société fournissant des services d'information à l'industrie pharmaceutique, indique que le nombre de patients faisant appel à ce genre de thérapie a augmenté de 29 % en 2002

(Elliott, 2006). Or, de tels traitements ont des répercussions multiples, et leurs effets sur le langage et la communication orale sont particulièrement méconnus. Ces effets sont néanmoins réels. Ainsi, van Goozen (1994) rapportent les propos d'une patiente en processus de changement de sexe après trois mois d'injections de testostérone :

*« I have problems expressing myself, I stumble over my words. Your use of language becomes less broad, more direct and concise. Your use of words changes, you become more concrete... I think less; I act faster, without thinking. »* (van Goozen, 1994, p. 173).

Même s'il ne s'agit que d'une étude de cas, le suivi de van Goozen (1994) donne des indices sur les effets généraux que peuvent avoir les traitements hormonaux sur la communication orale au quotidien, mais également sur les différences de performance verbale qui peuvent découler des concentrations d'hormones naturellement présentes chez les individus. Toutefois, l'étendue des effets hormonaux sur les différentes composantes de la performance langagière n'a fait l'objet d'aucune étude.

Dans cette optique, la présente étude est l'une des premières à allier à la fois la phonétique, la psycholinguistique, l'endocrinologie et l'anthropométrie. Elle est également l'une des premières à examiner les effets hormonaux sur divers aspects de la parole, de la voix et des habiletés verbales. L'objectif ultime de cette démarche est de déterminer la portée des effets d'ordre biologique sur le comportement langagier.

## **1.2. Remarques terminologiques**

Comme l'indique le titre du présent mémoire, on a examiné les effets des facteurs biologiques hormonaux sur la performance langagière. Toutefois, il est utile de préciser d'emblée les termes « performance langagière », « facteurs biologiques » et « genre ».

Ce qui s'entend par « performance langagière » comprend plusieurs variables, dont les paramètres acoustiques et articulatoires liés à la production orale, de même que les fonctions cognitives qui sous-tendent les habiletés verbales. Dans le cas du présent travail, on s'est intéressé à différents aspects de la parole et de la voix et à l'accès

lexical, c'est-à-dire la capacité à accéder rapidement à du vocabulaire stocké en mémoire à long terme.

Par « facteurs biologiques », on entend les variables ayant trait aux processus organiques, telles que les structures morphologiques et la condition hormonale. Dans cette optique, les mesures dont on fera état dans les sections subséquentes réfèrent à des variables morphométriques (taille, poids, longueur des bras et des jambes, dimensions des mains) et au taux de testostérone. À moins d'indications contraires, on utilise le terme « testostérone » pour désigner la testostérone salivaire libre disponible chez des sujets mâles adultes.

Quant au terme « genre », il s'agit d'un calque de l'anglais *gender*, qui peut être défini ainsi : « *Gender typically refers only to behavioral, social, and psychological characteristics of men and women.* » (Pryzgodna et Chrisler, 2000, p. 554)

Par opposition au sexe, le genre ne désigne pas une caractéristique physiologique, mais plutôt un attribut reposant sur la perception de la masculinité ou de la féminité. Par conséquent, on réfère aux différences langagières reliées au genre comme à l'ensemble des aspects de la parole, de la voix et de la cognition dont la variation est fortement associée aux concepts de masculinité et de féminité, indépendamment du sexe du locuteur.

Le présent exposé se divise en 10 parties. Dans la prochaine partie de ce travail (**section 2**), on recensera des aspects de la voix, de la parole et du langage qui ont fait l'objet d'études reliées aux notions de genre et de sexe. Puis, on présentera des théories selon lesquelles les différences langagières reliées au genre sont motivées socialement. En considérant ces approches sociolinguistiques, on proposera une explication alternative basée sur les facteurs biologiques et hormonaux. Cette discussion débouche sur les objectifs et les hypothèses de recherche exposées à la **section 3**. Les **sections 4** et **5** seront respectivement consacrées aux difficultés spécifiques et aux avantages méthodologiques que comporte une étude impliquant des analyses hormonales. Par la suite, on décrira les procédures suivies durant la collecte et l'analyse des données (**section 6**) et on introduira les articles qui forment le corps du présent mémoire (**section**

7). Les résultats de ces articles seront récapitulés et interprétés dans les dernières parties (**sections 8 et 9**). Enfin, on présentera les implications, les limites et les pistes de recherche qui découlent du présent travail à la **section 10**.

## 2. Recension de la littérature

### 2.1. Différences langagières reliées au genre

On a vu que les termes « genre » et « sexe » renvoyaient à des notions différentes. Le sexe est une variable dichotomique directement observable par le biais de caractéristiques physiologiques universelles (organes reproducteurs, ossature, pilosité, musculature, distribution des graisses). Le genre, par contre, constitue une variable continue qui n'est pas mesurable par rapport à une quelconque caractéristique physiologique, mais réfère plutôt à des catégories perceptives associées à des stéréotypes de « masculinité » et de « féminité » qui peuvent varier selon les mœurs de l'observateur (voir p. ex. Franklin, 1984). Néanmoins, les liens entre les notions de genre et de sexe ne sont pas tout à fait arbitraires. Ainsi, les comportements perçus comme masculins se retrouvent *généralement* (mais non pas *uniquement*) chez les hommes, alors que les comportements typiquement féminins sont habituellement présents chez les femmes.

Dans ce sens, une littérature sans cesse grandissante fait état de différences entre le comportement verbal typique des hommes et celui des femmes. En guise d'aperçu, le Tableau 1 ci-dessous énumère des variables de la parole, de la voix et des habiletés verbales qui présentent typiquement des différences sexuelles, mais qui peuvent également être associées à la notion de genre, sans égard au sexe des individus.

Tableau 1. *Variables langagières qui diffèrent selon le sexe des individus.*

Variables	Source
<b>Voix</b>	
Fréquence fondamentale moyenne	<b>Plus élevée chez les femmes</b> : Hillenbrand et coll. (1995), Perry et coll. (2001), Coleman (1976), Lass et coll. (1976)
Étendue de fréquence fondamentale	<b>Plus grande chez les femmes</b> : McConnell-Ginet (1983), Henton (1989)
Variation de fréquence fondamentale	<b>Plus grande chez les femmes</b> : Lee et coll. (1999), Wu et Childers (1991), Fichtelius et coll. (1992), Brend (1975)

## Parole

Hauteur des formants vocaliques	<i>Plus élevée chez les femmes</i> : Hillenbrand et coll. (1995), Perry et coll. (2001), Diehl et coll. (1996), Peterson et Barney (1952)
Dispersion des formants vocaliques	<i>Plus grande chez les femmes</i> : Rendall et coll. (2005), Simpson (2001), Simpson et Ericsdotter (2007)
Fréquences d'amplitude maximale ( <i>peak frequencies</i> ) des fricatives	<i>Plus élevées chez les femmes</i> : Schwartz (1968), Ingemann (1968), Wu et Childers (1991)
Durée des voyelles	<i>Plus longue chez les femmes</i> : Simpson (2002), Simpson (2001), Ericsdotter et Ericsson (2001), Hillenbrand et coll. (1995)
Durée des fricatives	<i>Plus longue chez les femmes</i> : Whiteside (1996),
Délai d'établissement du voisement ( <i>VOT</i> ) des occlusives	<i>Plus long chez les femmes</i> : Whiteside et Marshall (2001), Whiteside et Irving (1997); Ryalls et coll. (1997), Swartz (1992), Karlsson et coll. (2004)
Débit	<i>Plus lent chez les femmes</i> : Whiteside (1996), Byrd (1994), Swartz (1992)

## Habilités verbales

Accès lexical ( <i>verbal fluency</i> )	<i>Avantage chez les femmes</i> : Halpern (2000), Acevedo et coll. (2000), Kimura (1999), Gordon et Lee (1986), Carlson et Sherwin (2000)
---	---

---

Il est important de rappeler que les variables langagières répertoriées dans le Tableau 1 ne fluctuent pas seulement entre les individus de sexe opposé, mais également entre les personnes d'un même sexe. Ainsi, la performance verbale de certains hommes présente des caractéristiques qui s'éloignent des schèmes typiques de leur sexe pour se rapprocher des patterns habituellement rattachés aux femmes. Inversement, certaines femmes possèdent des caractéristiques langagières typiquement associées aux hommes. Or, de tels comportements verbaux peuvent susciter des jugements de masculinité ou de féminité qui ne correspondent pas au sexe des individus. Les différences langagières reliées au genre transcendent donc la notion de sexe. Cette prémisse a amené certains sociologues à considérer que les comportements linguistiques pouvaient représenter un

seul continuum bipolaire masculin-féminin. Bien que la légitimité de ce continuum véhicule l'apparence d'un consensus parmi les tenants de thèses sociolinguistiques, les causes de la variation langagière inter- et surtout intra-sexuelle font l'objet d'intenses débats opposant des théories sociologiques à des perspectives biologiques du comportement langagier. On résume dans ce qui suit l'essentiel de ce débat.

## 2.2. Théories sociologiques de la variation linguistique reliée au genre

Plusieurs des variables de la parole et de la voix présentées dans le Tableau 1 ont fait l'objet d'études impliquant des jugements perceptifs associés au degré de masculinité, de féminité et à l'orientation sexuelle des locuteurs. Ces variables incluent entre autres le voisement des occlusives, les résonances et la durée de certaines fricatives, les formants et la durée des voyelles (voir entre autres Gaudio, 1994; Smyth et coll., 2003; Linville, 1998; Munson, 2007; Munson et coll., 2006). Par exemple, les voyelles et les fricatives produites par les hommes dont la voix est jugée féminine sont plus longues et ont des fréquences de résonance plus élevées que celles des hommes ayant une voix considérée masculine. Comme l'indique le Tableau 1, ces aspects caractérisent généralement la production orale des femmes par rapport à celle des hommes. Cependant, le fait que la voix de certains groupes d'individus affiche des caractéristiques acoustiques généralement associées au sexe opposé a amené des sociolinguistes à interpréter ces comportements linguistiques atypiques comme étant appris. Les citations suivantes illustrent ce type d'interprétation, qui donne l'impression d'un consensus sur le caractère social des variables langagières reliées au genre.

*It might be hypothesized that this articulatory adjustment is acquired as part of normative expectations of appropriate behavior in the gay male community. That is, this articulatory feature may be acquired unconsciously as a marker of membership in the gay community. (Linville, 1998, p. 46)*

*One reasonable interpretation of this finding is that GLB [Gay/Lesbian/Bisexual] speech patterns reflect learned manipulation of the phonetic space. They [the results] are consistent with the suggestion that GLB speakers learn to model the speech of opposite sexed speakers in specific respects. [...] They [the speech patterns] could in principle be*



*learned in adolescence as a special speech register that the speakers acquire when they begin to identify with a GLB peer group. (Pierrehumbert et coll., 2004, p. 1908)*

*This leads us to conclude that gay-sounding features must be acquired [...] at an early age. This early emergence thus parallels other identity-linked phonetic variation, such as regional dialects, ethnic variants, and class markers. [...] So young boys who acquire these features must typically be getting them from their female family, friends, teachers, and other role models. [...] Boys who acquire feminine speech features should be those who are not only regularly exposed to female speech, but also those who have a special social affiliation with girls and women. (Smyth et Rogers, 2002, p. 301).*

Ces citations laissent sous-entendre que le locuteur utilise volontairement les traits phonétiques associés au genre comme marqueurs sociaux pour signaler leur appartenance à un groupe ou projeter une certaine identité sexuelle. Or, ce type d'interprétations soulève une série de problèmes qui sont au centre du présent travail. En fait, de telles perspectives omettent souvent de considérer les facteurs biologiques qui sous-tendent certains attributs du comportement verbal.

### **2.3. Problèmes théoriques découlant des interprétations sociolinguistiques**

Les citations ci-dessus, selon lesquelles les comportements linguistiques reliés au genre sont motivés socialement, posent problème dans la mesure où des catégories telles que l'orientation sexuelle *n'ont pas de valeur explicative* et ne permettent pas de rendre compte des mécanismes profonds qui sous-tendent les différences langagières inter- et intra-sexuelles. Dans cette optique, le fait de rattacher certains aspects de la performance langagière à des variables comme celle de l'orientation sexuelle des individus est contestable, car cette variable est difficile à évaluer par un critère autre que l'identification personnelle (par le biais d'un questionnaire par exemple), critère peu fiable en considérant la facilité avec laquelle un témoignage peut être falsifié (Smyth et coll., 2003). De plus, il y a dans cette approche l'acceptation de stéréotypes comme concepts d'analyse valables, même si ces concepts varient d'un observateur à l'autre. Or,

on peut se demander s'il est probant de référer à des clichés dans l'élaboration d'une explication du comportement langagier.

D'autre part, les théories sociologiques appréhendent essentiellement les comportements humains comme des phénomènes sociaux. Mais peut-on appliquer cette perspective à tous les comportements linguistiques? Par exemple, peut-on supposer a priori que l'utilisation d'une fréquence fondamentale (dorénavant F0) élevée en parole soit un comportement arbitraire appris en société, et que ce comportement serve à marquer l'appartenance à un groupe? En fait, il est bien établi que la F0 moyenne de la voix, à l'instar d'autres aspects de la communication orale humaine, repose sur des bases biologiques, dans ce cas-ci la taille et la masse des cordes vocales, qui diffèrent généralement selon le sexe (Titze, 1989). La variable de F0 ne découle donc pas de conventions sociales, *bien qu'elle puisse marquer l'appartenance à des groupes sociaux.*

Si les fondements biologiques de variables comme la F0 sont reconnus par plusieurs auteurs de *gender studies*, ces mêmes variables sont souvent réinterprétées comme des marqueurs sociaux lorsqu'elles se retrouvent de manière atypique chez certains individus. En somme, l'approche sociologique n'est pertinente dans l'explication des comportements linguistiques que si ces comportements sont motivés socialement. Or, des études indiquent que plusieurs aspects de la performance verbale sont reliés à des facteurs d'ordre biologique. On résume dans ce qui suit les variables en question.

#### **2.4. Facteurs biologiques pouvant affecter la parole et le langage**

Parmi les études sociolinguistiques citées plus haut, celle de Pierrehumbert et coll. (2004) est une des seules à évoquer la possibilité que certaines variables de la parole et de la voix associées au genre soient influencées par des facteurs biologiques innés. Les auteurs parlent entre autres de disposition génétique et d'environnement prénatal. Or, ces facteurs sont étroitement liés aux hormones, lesquelles peuvent amplifier ou supprimer l'action de certains gènes, en plus de modifier le fonctionnement des structures physiologiques (Beato et coll., 1996). Les hormones sexuelles ont des effets

particulièrement importants sur l'organisme et le comportement (pour une vue d'ensemble, voir Nelson, 1995). Ces hormones, dont la principale fonction consisté à réguler l'apparition et le maintien des traits caractéristiques de chaque sexe, se divisent en stéroïdes mâles (les androgènes) et femelles (les œstrogènes). La testostérone, un androgène dérivé du cholestérol, constitue la principale hormone mâle, et se retrouve en quantité beaucoup plus importante chez les hommes (Granger et coll., 2004). Tout comme les autres stéroïdes sexuels, la testostérone affecte le développement des individus de diverses façons. En fait, les travaux portant sur la testostérone font souvent la distinction entre deux types d'effets, soit organisateurs et activateurs.

Les effets *organiseurs* reflètent l'environnement hormonal durant le stade prénatal, au moment où les hormones sexuelles interviennent dans le processus de déféminisation et de masculinisation du cerveau. Au cours de ce stade, les concentrations hormonales auxquelles le fœtus est exposé déterminent le degré d'expression de traits caractéristiques masculins et féminins (Mazur, 2005). Plus tard, et particulièrement à la puberté, les taux d'hormones en circulation ont des effets *activateurs* sur l'organisme en stimulant le développement des traits sexuels. La portée de cette activation dépend non seulement des niveaux hormonaux disponibles chez un individu, mais également des fluctuations naturelles de ces niveaux, comme celles qui sont liées aux phases du cycle menstruel chez les femmes (Falter et coll., 2006).

Cependant, les effets hormonaux ne touchent pas seulement le développement de l'organisme, mais également des aspects du comportement des individus, dont fait partie la performance langagière. On résume ci-dessous les principaux résultats des études portant sur les liens entre les hormones et des variables de la parole, de la voix et des habiletés verbales, et on présente également certaines considérations sur les mesures de facteurs hormonaux.

#### **2.4.1. Effets sur la voix**

Un des aspects de la parole les plus souvent associés aux facteurs hormonaux est la F0, qui correspond à la vitesse de vibration des cordes vocales et qui est associée à la

« hauteur » (*pitch*) de la voix (Zitzmann et Nieschlag, 2001; Beckford et coll., 1985). Tout au long de l'enfance, la F0 des garçons n'est pas significativement différente de celle des filles, ce qui explique pourquoi il est parfois difficile d'identifier le sexe d'un enfant prépubère sur la base de cet unique critère (Perry et coll., 2001; Lee et coll., 1999; Bennett et Weinberg, 1979). La descente du larynx, qui survient au cours de l'adolescence, entraîne une baisse de la F0 chez les garçons (Fitch et Giedd, 1999; Lee et coll., 1999). De plus, les cordes vocales de l'homme adulte sont souvent décrites comme étant plus longues et plus massives que celles de la femme (Titze, 1989). Or, il est généralement admis que ces différences physiologiques sont le résultat de l'exposition aux hormones durant le développement (Kahane, 1982; Harries et coll., 1997; Pedersen et coll., 1986).

En suivant cette logique, Meuser et Nieschlag (1977) ont examiné la F0 moyenne et les taux hormonaux sanguins de 102 chanteurs mâles : 42 ténors, 29 barytons et 31 basses (20-70 ans). Les analyses ont révélé que les ténors avaient des voix plus aiguës, des taux de testostérone plus bas et des taux d'œstradiol (hormone femelle) plus élevés que les autres groupes de sujets. La F0 était également associée à la taille et à la masse corporelle. Meuser et Nieschlag (1977) ont conclu que la hauteur de la voix est influencée par les concentrations de stéroïdes sexuels en circulation dans le corps et par la sensibilité des organes phonateurs aux hormones.

Dans une étude impliquant des non-chanteurs, Dabbs et Mallinger (1999) ont recueilli les échantillons de salive de 149 étudiants (61 hommes et 88 femmes) et leur ont demandé de produire les chiffres de 1 à 10 et les voyelles de l'alphabet. À la fin de l'expérience, la F0 moyenne et le taux de testostérone salivaire des participants ont été mesurés. Les résultats des analyses ont démontré que chez les hommes, une voix grave était significativement associée à un taux de testostérone élevé. Par contre, la corrélation n'était pas significative chez les femmes. Compte tenu de ces résultats, Dabbs et Mallinger (1999) ont proposé des hypothèses d'ordre physiologique et psychologique pour expliquer les liens entre la testostérone et la F0 moyenne. Selon l'interprétation physiologique, le taux de testostérone pourrait affecter la F0 en modifiant la tension exercée sur les cordes vocales et l'activité musculaire dans la région du larynx. Suivant

l'interprétation psychologique, les individus ayant un taux élevé de testostérone utiliseraient une voix grave comme stratégie pour influencer leur interlocuteur.

Cette dernière hypothèse concorde avec des études qui suggèrent que les origines phylogénétiques du dimorphisme sexuel dans la hauteur de la voix sont reliées à la notion de dominance. Ainsi, Puts et coll. (2006) ont enregistré 111 hommes (18-24 ans) dans deux conditions différentes. La première condition consistait à lire un court texte qui allait servir de référence (condition de base). Dans la seconde condition, les sujets devaient dire à un locuteur mâle dont la voix avait été enregistrée pourquoi ils étaient admirés par d'autres hommes (condition de compétition). Par la suite, Puts et coll. (2006) demandaient aux participants de remplir un questionnaire dans lequel ils devaient évaluer leur degré de dominance physique et sociale, de même que celui de leur compétiteur. L'analyse des enregistrements a révélé que les sujets qui se considéraient plus dominants que leur compétiteur ont baissé leur F0 en s'adressant à lui (par rapport à leur valeur de référence), alors que ceux qui s'estimaient moins dominants l'ont haussée. Les auteurs concluent que la compétition intra-sexuelle a contribué à l'évolution de différences vocales chez les hommes.

Parallèlement à ces observations, certains auteurs ont noté des changements dans la voix et la morphologie des cordes vocales des femmes durant le cycle menstruel et la ménopause, deux phénomènes physiologiques caractérisés par de fortes variations hormonales (Abitbol et coll., 1999; Boulet et Oddens, 1996; Brodnitz, 1979). D'autres chercheurs ont rapporté des altérations vocales causées par les traitements hormonaux (Caruso et coll., 2000; Pattie et coll., 1998; Lindholm et coll., 1997; Need et coll., 1993). Enfin, il est connu que les hommes ayant subi une ablation des testicules (les principales glandes endocrines mâles) avant la puberté conservent la hauteur vocale caractéristique des enfants. Ces études démontrent clairement que les hormones sexuelles ont des effets sur des aspects de la voix qui sont associés au genre, mais qui, de toute évidence, ne sont pas de nature sociale.

On voit ici une perspective qui va à l'encontre des théories sociolinguistiques, en ce qu'elle ne considère pas les variables de la performance langagière comme découlant

d'une volonté de communiquer l'appartenance à un groupe, mais plutôt comme le produit de facteurs biologiques hormonaux qui peuvent avoir des fonctions sociales.

#### **2.4.2. Effets sur la parole**

Si les liens entre les facteurs hormonaux et la F0 de la voix semblent clairs, les liens avec la parole peuvent paraître moins évidents, surtout en ce qui a trait aux aspects dynamiques, comme la durée des sons et le débit. Des études indiquent que les aspects statiques de la parole, tels que la hauteur des formants et les fréquences de résonance, corrélient avec des facteurs biologiques de type morphométrique. Ainsi, González (2004) a mesuré la taille et le poids de 82 locuteurs natifs de l'espagnol (27 hommes et 55 femmes) âgés entre 20 et 30 ans et leur a demandé de produire les voyelles [a], [e], [i], [o] et [u]. L'analyse des formants vocaliques (F1 à F4) et des données morphométriques des sujets a révélé une corrélation négative significative entre la taille et la moyenne de F2 pour les deux sexes. Chez les femmes, F2 et F3 corrélaient également avec la taille et le poids respectivement.

De même, Fitch et Giedd (1999) ont observé une corrélation positive significative entre la taille des sujets et la longueur du conduit vocal. Dans leur étude, les auteurs ont examiné la morphologie du conduit vocal de 129 sujets normaux (76 hommes et 53 femmes) âgés entre 2 et 25 ans au moyen des techniques d'imagerie par résonance magnétique. Fitch et Giedd (1999) ont noté des différences sexuelles marquées dans la forme et les proportions relatives de la cavité buccale et de la paroi pharyngale. Ces différences sont logiques si on considère que la descente du larynx, et l'allongement du conduit vocal qui s'ensuit, ne se produisent que chez les hommes (Fitch et Giedd, 1999; Lee et coll., 1999).

En somme, les études de González (2004) et Fitch et Giedd (1999) ont démontré un lien entre les dimensions des structures morphologiques (et particulièrement celles des cavités de résonance) et les aspects statiques de la parole comme la fréquence des formants. Ce lien s'explique si on considère certaines études rapportant des effets hormonaux sur la croissance des structures physiologiques. Bien qu'elles soient

controversées, ces études indiquent que la taille relative des os à l'âge adulte refléterait le degré d'exposition à la testostérone et aux autres hormones stéroïdes avant la naissance, de même que leur degré d'expression durant la période prépubère (Winkler et Christiansen, 1991; Martin et Nguyen, 2004). Une exposition réduite à la testostérone au cours du stade prénatal se traduirait donc par le développement restreint de certains os du squelette (Martin et Nguyen, 2004). Suivant ce principe, on pourrait supposer que les facteurs hormonaux affectent indirectement les aspects statiques de la parole en jouant un rôle dans le développement des cavités de résonance. Des travaux ont effectivement corroboré cette hypothèse en démontrant un lien entre le taux de testostérone et les formants vocaliques. Ainsi, Bruckert et coll. (2006) ont enregistré la voix de 26 locuteurs mâles (18-32 ans) produisant naturellement deux séries de voyelles [a], [œ], [i], [o] et [y] à un débit constant. Les analyses acoustiques et hormonales ont révélé que les hommes dont les formants vocaliques étaient élevés et dispersés avaient un taux de testostérone significativement plus bas que les autres. La recherche ci-dessus suggère que les facteurs hormonaux peuvent prédire les variables spectrales de la parole.

Cependant, les effets hormonaux ne se limitent pas aux variables spectrales statiques de la parole, mais touche également des aspects dynamiques moteurs, qui sont souvent négligés dans les études. Par exemple, Hampson (1990) a examiné les effets des fluctuations du taux d'œstradiol sur la vitesse articulatoire. Dans son étude, un groupe de 50 femmes âgées entre 20 et 43 ans a participé à une prise de sang et a complété une batterie de tests cognitifs et moteurs à deux moments différents, soit durant les règles et à la fin de la phase folliculaire du cycle menstruel. Une des tâches des sujets consistait à produire des séquences de syllabes [ba] et [ga] le plus rapidement possible pendant cinq secondes. Les résultats de l'étude indiquent une augmentation significative de la vélocité articulatoire au cours de la phase folliculaire, où les concentrations d'œstradiol atteignent leur plus haut niveau.

Bien que les recherches ci-dessus contribuent à élucider les effets indéniables des facteurs hormonaux sur la performance orale langagière, elles laissent plusieurs variables inexplorées. On remarque en particulier que les aspects prosodiques, temporels et émotifs n'ont pas fait l'objet d'études poussées. De plus, la presque totalité des

publications citées ci-dessus émanent de chercheurs qui ne sont pas familiers avec les techniques d'analyse linguistique et phonétique, de sorte que les analyses sont plutôt restreintes lorsqu'il est question des effets généraux des hormones sur la communication orale.

### 2.4.3. Effets sur les habiletés verbales

Les études portant sur les liens entre les facteurs hormonaux et les habiletés verbales ont fait usage de techniques impliquant des mesures morphométriques *indirectes* ou des mesures *directes* de taux d'hormones. Comme on l'a indiqué précédemment, le premier type de mesures est censé refléter l'influence des stéroïdes sexuels sur la croissance des structures physiologiques. Parmi les mesures morphométriques, le ratio index/annulaire (dorénavant ratio I/A) est l'un des indices les plus souvent rattachés à l'environnement hormonal dans le ventre de la mère. Selon de récentes hypothèses, la longueur relative de ces deux doigts reflèterait le degré d'exposition du fœtus aux hormones sexuelles (Lutchmaya et coll., 2004), bien qu'elle ne corrèle pas nécessairement avec les concentrations hormonales au stade adulte. Un ratio I/A élevé traduirait une faible exposition aux hormones mâles (androgènes) et/ou une forte exposition aux hormones femelles (œstrogènes), ce qui expliquerait pourquoi les femmes ont généralement un ratio I/A plus élevé que les hommes (Manning et coll., 1998). Les hommes atteints d'insensibilité aux androgènes présentent un pattern digital similaire à celui des femmes (Manning et coll., 2003). Inversement, l'hyperplasie surrénale congénitale, une anomalie caractérisée par une surproduction d'androgènes durant le stade prénatal, produit un ratio I/A masculin (Brown et coll., 2002; Okten et coll., 2002).

Il est utile de noter que le ratio I/A permet de prédire une multitude de traits et de comportements présentant un dimorphisme sexuel, dont certains sont indirectement attribuables à l'activité hormonale. Ces comportements incluent entre autres le taux de fertilité (Manning et coll., 2000), les intérêts sexuels (Rahman et coll., 2003; McFadden et Shubel, 2002), les performances athlétiques (Manning et Taylor, 2001b), les habiletés cognitives (Manning, 2002; Csathó et coll., 2003), l'apparence physique (Neave et coll., 2003) et le statut social (Manning, 2002; Neave et coll., 2003).



À ce jour, Manning (2002) et Putz et coll. (2004) sont parmi les seuls auteurs à avoir tenté d'établir un lien entre des mesures morphométriques comme le ratio I/A et la performance langagière. Manning (2002) a examiné les scores des hommes et des femmes lors de tâches d'accès lexical. Le chercheur a découvert que les performances dans les tâches lexicales corrélaient positivement avec la longueur relative de l'index et de l'annulaire. Autrement dit, les participants dont le ratio I/A était élevé (féminin) ont obtenu des scores plus élevés que les autres. Putz et coll. (2004), quant à eux, ont enregistré 230 hommes dans trois conditions différentes. Les deux premières conditions correspondent aux conditions de référence et de compétition utilisées par Putz et coll. (2006) et décrites plus haut. Dans le troisième contexte, les sujets mâles devaient se décrire à une femme apparaissant sur vidéo (condition de séduction). Putz et coll. (2004) ont ensuite mesuré la F0 des sujets dans chacun des trois contextes d'enregistrement. Toutefois, aucune des trois mesures de F0 ne corrélait avec le ratio I/A. Ces résultats suggèrent les liens entre le ratio I/A et la performance langagière ne sont pas toujours des indicateurs fiables des effets hormonaux.

En revanche, les mesures *directes* de taux d'hormones prénatales semblent plus pertinentes à l'établissement d'un lien entre les facteurs hormonaux et la performance langagière, particulièrement en ce qui a trait aux fonctions cognitives. Ainsi, Lutchmaya et coll. (2002a) ont analysé le fluide amniotique de 87 femmes enceintes pour mesurer les concentrations de testostérone en circulation dans l'environnement du fœtus. Par la suite, les chercheurs ont effectué un suivi auprès des 40 garçons et des 47 filles issus de ces grossesses et ils ont évalué l'étendue de vocabulaire de ces derniers à l'âge de 18 mois et de 24 mois. Lutchmaya et coll. (2002a) ont découvert que le taux de testostérone fœtale corrélait négativement avec la taille du vocabulaire lorsque les données des deux sexes étaient combinées, mais que la corrélation n'était pas significative lorsque les données de chaque sexe étaient examinées séparément. Les chercheurs attribuent ce dernier résultat au nombre relativement peu élevé de sujets et concluent en évoquant la possibilité que les hormones prénatales soient impliquées dans la formation des mécanismes neurologiques qui sous-tendent le développement de la communication.

D'autre part, plusieurs études utilisant des mesures de taux d'hormones plutôt que des mesures *indirectes* morphométriques suggèrent que les hormones sexuelles ont des effets sur l'accès lexical. Rappelons que dans le cadre du présent travail, le terme « accès lexical » réfère exclusivement à la capacité d'accéder rapidement à du vocabulaire stocké en mémoire à long terme. Dans ce sens, il correspond en anglais à *verbal fluency*, et ne doit pas être confondu avec le terme général *lexical access*, lequel englobe des fonctions cognitives (comme le rappel) dont on n'a pas tenu compte ici. Les tâches d'accès lexical, qui sont souvent utilisées en neuropsychologie pour évaluer les processus mnémoniques, diffèrent en ce qu'elles portent sur deux types de relations lexicales, soit les associations phonologiques (dorénavant AP) et les associations sémantiques (dorénavant AS). Le premier type implique que le sujet trouve dans une période de temps limitée le plus de mots possible commençant par une lettre donnée, alors que le deuxième porte sur des mots faisant partie d'une catégorie sémantique spécifique. Il a été démontré que les femmes sont avantagées par rapport aux hommes dans ces deux types de tâches (voir Tableau 1, p. 5). On pourrait expliquer ces différences par le fait que les femmes ont un taux de testostérone plus faible que les hommes. En général, la testostérone est considérée comme ayant des effets inhibiteurs sur les processus cognitifs impliqués dans l'accès lexical. C'est ce qui ressort de certaines recherches cliniques portant sur les traitements hormonaux, qui indiquent des pertes de performance dans les tâches lexicales suivant l'injection de testostérone (van Goozen et coll., 1994) et des gains lorsque les récepteurs d'androgènes sont insensibilisés (van Goozen et coll., 1995).

En outre, des travaux ont examiné la variation intra-sexuelle des performances lexicales en comparant les taux hormonaux et les scores obtenus par les sujets. Certains auteurs ont observé que les scores d'accès lexical corrélaient négativement avec les niveaux de testostérone chez différents groupes d'individus (Fuchs, 1998; Wolf et Kirschbaum, 2002; Wolf et coll., 2000; van Goozen et coll., 1994; van Goozen et coll., 1995; Christiansen, 1993) et positivement avec les concentrations d'œstradiol (Yonker et coll., 2006; Maki et coll., 2002), alors que d'autres ne rapportent aucun lien significatif entre les facteurs hormonaux et les performances lexicales (Neave et coll., 1999; Gordon et Lee, 1986). Il est possible que ces résultats contradictoires reflètent les diverses méthodes employées par les chercheurs. On remarque entre autres une grande disparité

dans l'ordre de présentation et le nombre d'essais alloués lors des tâches d'accès lexical (voir **Article 3**). Chose certaine, les études citées pointent vers la nécessité de confirmer l'influence des stéroïdes sexuels sur les performances dans les tâches lexicales.

### 3. Objectif de l'étude et hypothèses de recherche

Il se dégage de la recherche recensée ci-dessus qu'en dehors des études de cas où il y a administration d'hormones, les effets des facteurs hormonaux sur la performance langagière ont été évalués suivant deux techniques de mesure. La première est indirecte et porte sur différents attributs morphométriques associables à des degrés d'exposition aux hormones durant le stade prénatal et le développement. La deuxième est plus directe et porte sur des analyses endocriniennes de taux hormonaux en présence chez l'individu *au moment des tests*. Si certaines mesures morphométriques semblent logiquement associables à des aspects statiques de la parole et de la voix (p. ex. la taille et la masse des cordes vocales comme déterminants de la F0 en parole, ou les dimensions des cavités de résonance comme déterminants de la hauteur des formants vocaliques), les liens avec des facteurs dynamiques comme le débit ou la durée de certains sons semblent moins clairs. Enfin, lorsqu'on considère d'autres aspects de la communication tels que les habiletés verbales, les liens avec des mesures morphométriques semblent tout à fait éloignés. On pourrait par exemple se demander en quoi un indice comme la longueur des jambes ou le ratio I/A serait relié à des performances cognitives comme l'accès lexical. Si de tels liens existent, leur pertinence à expliquer certaines différences dans les habiletés verbales semble négligeable de prime abord. Néanmoins, compte tenu que des variables morphométriques sont liées à une exposition aux hormones et que cette exposition peut être déterminante sur la performance langagière (p. ex. dans le cas de l'autisme), on ne peut rejeter a priori la possibilité d'un lien indirect entre les mesures morphométriques et les habiletés cognitives langagières.

Dans le cas des mesures de taux d'hormones en présence chez les individus, des liens plus directs peuvent s'établir. Ainsi, on pourrait penser que les concentrations d'hormones en circulation dans l'organisme sont à même d'activer les structures impliquées dans la production de la parole et les mécanismes d'attention, et d'affecter à la fois la rapidité des mouvements articulatoires et des processus cognitifs. Toutefois, il a été noté que les études faisant usage de mesures de taux d'hormones comportent des résultats contradictoires qui découlent possiblement de facteurs confondants. Le contrôle de ces facteurs présente des difficultés d'ordre méthodologique qui sont décrits dans la

section suivante. Il n'en demeure pas moins que l'existence des effets hormonaux est indéniable et clairement appuyée par les différences connues entre les hommes et les femmes, de même que par les études de cas où des traitements hormonaux ont suscité dans des laps de temps restreints des effets sur des performances cognitives comme l'accès lexical, de même que sur des aspects de la parole et de la voix.

En somme, la recherche ci-dessus indique, par le biais de deux types de mesures, que des facteurs hormonaux peuvent avoir des effets significatifs sur un vaste ensemble de variables associées à la performance langagière. Toutefois, les mesures morphométriques indirectes et les mesures directes de taux d'hormones varient en fonction de la méthodologie adoptée.

Compte tenu de ces considérations, l'objectif de la présente étude est d'examiner les effets des facteurs hormonaux sur la performance langagière, et particulièrement sur les variables qui présentent des différences intra-sexuelles. Pour ce faire, on utilisera à la fois des mesures indirectes morphométriques liées à l'exposition aux hormones (taille, poids, longueur des jambes et des bras, ratio I/A) et des mesures directes de taux de testostérone en présence chez les sujets. Les variables langagières analysées incluent entre autres les aspects intonatifs, spectraux et temporels de la parole et de la voix, ainsi que les performances d'accès lexical. Le présent travail se démarque donc des études antérieures en ce qu'il explore plusieurs composantes langagières en ayant comme objectif de dégager la portée relative des effets hormonaux sur la performance verbale.

Par rapport à cet objectif, et conformément aux résultats des études citées précédemment, on prédit que les paramètres vocaux (p. ex. moyenne et étendue de la F0) et les variables statiques de la parole (formants vocaliques, résonances des fricatives) corrélent négativement avec le taux de testostérone et les mesures morphométriques (Meuser et Nieschlag, 1977; Dabbs et Mallinger, 1999; González, 2004). Par ailleurs, on s'attend à obtenir une corrélation négative entre les variables temporelles et le niveau de testostérone. Enfin, on prévoit des effets inhibiteurs de la testostérone sur l'accès lexical (Fuchs, 1998; Wolf et Kirschbaum, 2002; Wolf et coll., 2000; van Goozen et coll., 1994; van Goozen et coll., 1995; Christiansen, 1993). La vérification de ces hypothèses requiert des analyses hormonales. Dans le cadre de la présente étude, on a mesuré le taux

de testostérone libre à partir d'échantillons de salive recueillis auprès de sujets mâles adultes. Or, pour s'assurer de la fiabilité d'un prélèvement salivaire, on doit suivre des procédures strictes en considérant différents facteurs confondants dont on fait état dans la section suivante.

#### **4. Problèmes méthodologiques causés par la variabilité de la testostérone**

Une des difficultés que pose toute étude impliquant la testostérone est le caractère instable des taux hormonaux en présence dans l'organisme. Ces taux varient selon une multitude de facteurs, incluant le temps (saisons, heures, jours), les conditions expérimentales et les caractéristiques inhérentes au sujet, telles que son état de santé et ses habitudes de vie. Il faut considérer l'ensemble de ces facteurs pour élaborer un protocole de prélèvement salivaire valide et fiable. On résume dans ce qui suit les principales variables de contrôle qui ont été considérées et qui ont orienté la méthode utilisée dans la présente recherche.

##### **4.1. Variabilité découlant des caractéristiques du sujet**

Comme on l'a mentionné précédemment, les femmes produisent des quantités de testostérone très faibles par rapport aux taux que l'on observe chez les hommes. Ainsi, Granger et coll. (2004) ont mesuré des taux moyens de testostérone salivaire de 23 pg/mL chez les femmes de 29-34 ans, soit 3,5 fois moins que les valeurs de 81 pg/mL rapportées pour les hommes du même âge. Le fait que la plupart des femmes aient un taux peu élevé de testostérone entraîne des conditions techniques difficiles lors de l'analyse (Dabbs et coll., 1995). Parfois, les concentrations sont trop faibles pour être détectées.

Le critère d'âge est également une variable de contrôle à considérer dans toute étude impliquant des facteurs hormonaux. Ellison et coll. (2002) ont examiné le taux de testostérone salivaire de 106 États-Uniens âgés entre 15 et 60 ans. Les chercheurs ont observé que le taux de testostérone passait de 288 pmol/L chez les hommes de 30-45 ans à 238 pmol/L chez ceux de 45-60 ans, une différence significative de 18 %. Ces résultats démontrent qu'il est important d'assurer une homogénéité quant à l'âge des sujets dans une étude qui vise à déterminer les effets hormonaux sur le comportement verbal.

Par ailleurs, des recherches indiquent que le taux de testostérone varie en fonction de l'origine ethnique. Ellison et coll. (2002) ont étudié le taux de testostérone salivaire de sujets originaires des États-Unis, du Congo, du Népal et du Paraguay. Les résultats

révèlent qu'à 20 ans, les États-Uniens étaient ceux dont le taux de testostérone était le plus élevé parmi les quatre groupes de sujets, mais aussi ceux qui avaient le taux le plus bas à 80 ans. Étant donné que le bagage génétique se transmet de génération en génération, il est pertinent de contrôler l'origine ethnique des sujets.

#### **4.2. Variabilité découlant de substances interférentes**

Un certain nombre d'auteurs ont démontré que certaines substances peuvent interférer avec le taux de testostérone et fausser ainsi les résultats d'une analyse hormonale. Ces substances incluent entre autres des aliments, des boissons et des médicaments (Lipson et Ellison, 1989). En outre, certains stimulants oraux communément utilisés pour accélérer la production de salive lors du prélèvement contiennent des agents qui font augmenter du niveau d'acidité (pH) de la salive, ce qui peut causer une hausse drastique du taux de testostérone. Par exemple, Dabbs (1991) a découvert que la gomme à mâcher contenant du sucre produisait des taux de testostérone plus hauts que la moyenne, alors que la gomme sans sucre menait à des valeurs normales. Finalement, Granger et coll. (2004) met les chercheurs en garde contre les écoulements de sang dans la cavité buccale, qui peuvent également induire des niveaux d'hormones anormalement élevés. Une façon de contrôler ces facteurs confondants consiste à exclure les sujets dont le pH salivaire est trop acide et ceux qui présentent des abcès, une gingivite ou du diabète.

#### **4.3. Variabilité découlant de cycles temporels**

Le taux de testostérone fluctue aussi selon le cycle circannuel, c'est-à-dire, la variation saisonnière. Dabbs (1990a) a examiné les concentrations de testostérone plasmatique de 4462 anciens combattants (32-44 ans) à différentes époques de l'année. Après avoir comparé les taux de testostérone des sujets, l'auteur a constaté que ceux-ci atteignaient leur valeur maximale durant le mois de novembre, et qu'ils étaient à leur niveau le plus bas en juillet. Dabbs (1990a) fait remarquer à juste titre que la découverte de patterns saisonniers dans les fluctuations hormonales a des implications fondamentales sur l'étude du comportement humain.



Dans une autre étude, Dabbs (1990b) a prélevé la salive de 270 hommes et de 175 femmes à divers moments de la journée, soit au réveil (7h), durant l'avant-midi (10h), en après-midi (16h) et en fin de soirée (22h). Les concentrations moyennes de testostérone des deux groupes de sujets ont chuté d'environ 50 % entre le premier et le dernier prélèvement. Ces résultats suggèrent que le taux de testostérone varie en suivant le cycle photopériodique. Par ailleurs, Axelsson et coll. (2005) ont démontré que la variation hormonale diurne était également liée aux heures de sommeil et à l'heure de réveil.

## **5. Avantages d'utiliser la testostérone salivaire en recherche expérimentale**

En dépit des difficultés techniques que comporte un prélèvement de salive, le taux de testostérone salivaire est une mesure fiable. Plusieurs expériences ont été menées dans le but d'évaluer la fiabilité des analyses hormonales impliquant des échantillons salivaires. Neuf centres de recherche situés dans quatre pays différents ont pris part à une expérience élaborée par Dabbs et coll. (1995). Chaque laboratoire participant devait, en utilisant ses propres techniques d'analyse, mesurer les concentrations de testostérone présentes dans des échantillons salivaires provenant d'un groupe de 100 hommes et de 100 femmes. Bien que les procédures aient varié considérablement d'un centre de recherche à l'autre, la comparaison des rapports d'analyse a révélé un taux de concordance inter-laboratoire de 87 % pour les sujets masculins et de 78 % pour les sujets féminins. Cependant, Dabbs et coll. (1995) soulignent la nécessité d'effectuer tous les prélèvements de salive en suivant le même protocole et de faire analyser tous les échantillons au même laboratoire. Bien que l'on puisse augmenter la précision des analyses hormonales en effectuant plusieurs prélèvements par sujet, Dabbs (1995, 1991) a démontré qu'il était approprié d'utiliser des échantillons uniques en recherche comportementale.

Il est également utile de noter que malgré le fait que le taux de testostérone salivaire ne représente environ que 2 % des concentrations totales en circulation dans l'organisme (Nahoul et coll., 1986), il constitue un indicateur fiable du taux de testostérone sanguin (Vitteck et coll., 1985). En fait, le prélèvement salivaire présente l'avantage d'être non invasif et moins stressant par rapport à une prise de sang. De plus, la salive ne contient que de la testostérone « libre », c'est-à-dire non liée par d'autres substances, alors que la testostérone présente dans le sérum sanguin peut soit être libre, liée par la globuline ou liée par les albumines. Or, seule la testostérone libre peut atteindre le cerveau et ainsi affecter les performances cognitives (Vermulen et Verdonck, 1972; Shute et coll., 1983). Le fait que la présente étude implique des tâches qui font appel à certains processus langagiers constitue donc une raison supplémentaire de mesurer la testostérone salivaire.

## 6. Méthodologie

À la lumière des considérations exposées à la section 4, le caractère instable des mesures hormonales pointe vers la nécessité de contrôler des facteurs qui autrement risquent d'introduire des biais dans les analyses. Ces facteurs confondants pourraient expliquer la variabilité des résultats obtenus dans plusieurs études antérieures. Afin d'assurer la fiabilité des analyses endocriniennes, il était donc essentiel de suivre un protocole de prélèvement de salive rigoureux.

Les sections suivantes décrivent en détails les procédures qu'on a adoptées lors du recrutement des sujets, de la collecte des données et de l'analyse des variables, et qui sont rapportées dans les articles de la section 7. Comme on l'a indiqué précédemment, les facteurs hormonaux peuvent être évalués au moyen de deux types de mesures. Ainsi, dans le cadre de ce travail, on a utilisé des mesures morphométriques *indirectes* (taille, poids, longueur des deux bras et des deux jambes et ratio I/A des deux mains) et des mesures *directes* de taux de testostérone salivaire en présence chez les sujets au moment des tests. Quant aux variables langagières de la présente étude, elles incluent différents aspects de la parole (propriétés statiques et dynamiques), de la voix (paramètres de la F0), et des habiletés verbales (accès lexical).

Enfin, mentionnons que les méthodes de recrutement des sujets et de collecte des données, ainsi que les protocoles des différentes tâches ont été préalablement approuvés par le Comité d'éthique de la recherche de la Faculté des arts et des sciences (CÉRFAS).

### 6.1. Sujets et procédure de recrutement

Quarante sujets de sexe masculin âgés entre 20 et 27 ans ( $M = 24,07$  ans;  $\pm 2,41$  ans) ont été recrutés sur le campus de l'Université de Montréal. Lors du recrutement de ces sujets, l'objectif était d'obtenir un échantillon qui présente de la variation tant au niveau hormonal que langagier, tout en contrôlant les facteurs présentés ci-dessus. Dans cette optique, on devait s'assurer de recruter des sujets qui présentent des différences sur les variables du genre. En suivant une stratégie de recrutement adoptée dans plusieurs études (Smyth et Rogers, 2002; Smyth et coll., 2003; Munson, 2007; Munson et coll.,

2006; Linville, 1998; Pierrehumbert et coll., 2004), une partie des sujets (30 %) ont été recrutés par courriel par l'entremise de l'association des étudiants gais, lesbiennes et bisexuels de l'Université de Montréal. Les autres sujets (70 %) ont été recrutés en personne par l'expérimentateur ou par le biais d'annonces et d'affiches.

Il est important de noter que dans le but d'assurer le contrôle de certains facteurs confondants, des critères d'admissibilité ont été appliqués lors du recrutement. En particulier, les sujets qui présentaient des problèmes buccaux (p. ex. abcès, gingivite), des troubles d'hyperacidité ou du diabète étaient exclus de l'étude, puisque de telles conditions peuvent affecter les concentrations hormonales (Granger et coll., 2004; Dabbs, 1991). De plus, les sujets étaient préalablement informés des restrictions alimentaires et des consignes entourant le prélèvement de salive (voir **sous-section 6.2.1**). Aussi, tous les participants ont signé un formulaire de consentement et ont rempli un questionnaire d'une page portant sur différents aspects de leur situation personnelle, tels que leur programme d'études, leur lieu d'origine, leur descendance ethnoculturelle et leur orientation sexuelle. Ces informations ont été recueillies dans l'éventualité où elles pourraient élucider des sources de variation dans les données. Par ailleurs, la lettre d'information indiquait que les détails concernant le prélèvement de salive seraient divulgués seulement à la fin de la rencontre. En dissimulant temporairement que les analyses salivaires portaient sur la testostérone, on évitait que les sujets ne modifient volontairement leur voix. Ce problème méthodologique a été soulevé par Smyth et Rogers (2003).

## **6.2. Procédures, analyse et instrumentation**

L'expérience comportait trois parties. En premier lieu, les participants devaient produire un échantillon de salive qui allait servir à mesurer le taux de testostérone. Dans un deuxième temps, on a relevé différentes mesures morphométriques telles que la taille et le poids des sujets. Enfin, la dernière partie comportait différentes tâches de performance langagière. Les sections qui suivent présentent l'essentiel de ces trois séries de mesures et de tâches.

### 6.2.1. Prélèvement de salive

Comme on l'a indiqué, on a utilisé deux types de variables dépendantes relatives aux facteurs hormonaux, soit des mesures directes de taux d'hormones et des mesures morphométriques indirectes. Le premier type de mesures portait sur le taux de testostérone salivaire et impliquait donc un prélèvement de salive. Selon la procédure adoptée, le sujet arrivait à jeun au Laboratoire de sciences phonétiques (Université de Montréal) deux heures après son réveil, étant donné que les taux hormonaux peuvent être altérés par l'absorption de certains aliments (Lipson et Ellison, 1989; Dabbs, 1991), et qu'ils varient en fonction du moment de la journée (Dabbs, 1990b; Axelsson et coll., 2005). On vérifiait une dernière fois si le sujet avait respecté ces consignes en passant en revue une feuille de contrôle. Après avoir répondu aux questions, on administrait un test de pH salivaire. On expliquait au sujet qu'il serait exclu de l'expérience si son pH salivaire s'avérait trop acide (c'est-à-dire inférieur à 6,0), car l'hyperacidité peut entraîner des hausses anormales dans les taux hormonaux (Granger et coll., 2004; Dabbs, 1991). Le test consistait à placer une bandelette de papier pH sous la langue pendant trois secondes. Puis, on trouvait sur une échelle de pH le niveau correspondant au pH salivaire du sujet.

Dans le cas où le sujet avait un pH normal, on procédait au prélèvement de salive. À cette étape, le participant et l'expérimentateur devaient se laver les mains avec de l'eau et du savon antibactérien pour réduire les risques de contamination de l'échantillon. Le sujet pouvait aussi stimuler sa production de salive en se rinçant la bouche avec de l'eau fraîche. On lui remettait ensuite un tube de prélèvement de 10 mL en lui demandant de le remplir de salive jusqu'aux trois quarts, ce qui équivaut environ à 7 mL. Le participant devait cependant s'abstenir d'expectorer des substances autres que de la salive (p. ex. du mucus) dans le tube. Il devait également se garder de toucher la surface supérieure du tube avec ses doigts, et limiter le plus possible le contact avec les lèvres. Durant le prélèvement, le sujet pouvait lire le journal en prenant soin de tourner les pages avec la main opposée à celle qui tenait le tube. Une fois le prélèvement terminé, on offrait un léger goûter au participant. Pendant ce temps, l'expérimentateur écrivait le

code du sujet, ainsi que la date et l'heure du prélèvement sur le tube, qu'il rangeait ensuite dans un endroit sécuritaire jusqu'à la fin des tests.

À la fin des tests, l'échantillon de salive était entreposé à une température constante de  $-20^{\circ}\text{C}$  (Dabbs, 1991) dans un congélateur horizontal situé au domicile de l'expérimentateur. Une fois l'étude terminée, les échantillons ont été expédiés simultanément au *Rocky Mountain Analytical Laboratories* (Alberta) par courrier prioritaire pour être analysés. Les analyses hormonales ont été effectuées par *Rocky Mountain Analytical*, un laboratoire accrédité situé à Calgary, en Alberta. D'abord, une extraction des échantillons a été effectuée pour concentrer les hormones. Afin d'assurer la fiabilité des analyses hormonales, chaque échantillon a été dupliqué et les concentrations de testostérone ont été mesurées sur chacun des duplicata. Dans les cas où le taux de concordance entre les deux duplicata était pauvre, une deuxième analyse indépendante a été effectuée.

### 6.2.2. Mesures morphométriques

Les variables dépendantes incluses dans la présente analyse comportaient également des mesures morphométriques indirectes, où on évaluait les dimensions physiologiques du sujet. Dans un premier temps, on demandait au sujet de mesurer sa taille (hauteur) et de se peser. Celui-ci devait vider ses poches et retirer tous les objets lourds qu'il pouvait porter sur lui (ceintures et montre). Il enlevait aussi ses souliers. Puis, le sujet montait sur le pèse-personne (Seca, modèle 700). Il ajustait lui-même les poids et la règle à coulisse du pèse-personne en restant bien droit et en regardant devant lui, pendant que l'expérimentateur se trouvait derrière pour noter les valeurs. On a aussi calculé l'indice de masse corporelle (IMC), souvent utilisé dans les études anthropométriques (Martin et Nguyen, 2004) comme le poids (en kg) divisé par la taille (en cm). Pour mesurer la longueur des jambes, le sujet était pieds nus. Il devait mettre un pied à plat sur un mur et déposer le genou contre une surface en bois sur laquelle on avait fixé un ruban gradué. Cette surface était parallèle au sol, de sorte que le genou du sujet formait un angle de  $90^{\circ}$ . L'expérimentateur plaçait alors une plaque de métal à angle droit au bout du genou du participant pour prendre la mesure. La longueur des jambes était donc définie comme la distance entre le genou et la plante des pieds (en cm). On répétait ces opérations deux

fois pour chaque jambe. Les bras du sujet étaient mesurés en suivant le même principe. Celui-ci appuyait son coude contre une boîte de bois et déposait son bras à l'horizontale sur un ruban gradué, de manière à former un angle de 90° avec son coude. On notait la valeur qui apparaissait au bout du majeur du sujet. On définissait donc la longueur des bras comme la distance entre le coude et le bout du majeur (en cm). Chaque bras était mesuré à deux reprises. Lors des analyses, on a calculé la moyenne des quatre mesures de longueur pour les jambes (deux mesures par jambe) et les bras (deux mesures par bras) de chaque sujet. Enfin, on évaluait les dimensions des mains en scannant les paumes du sujet (*ScanJet 5300C*, HP). Pour effectuer ces mesures, le sujet devait enlever bagues, montres et bracelets, puis déposer sa main à plat sur la surface du scanner en prenant soin de ne pas appliquer de pression sur le bout des doigts et de ne pas créer d'aspérités avec sa paume. On réalisait deux scans pour chacune des mains. Par la suite, on a calculé le ratio I/A de la main gauche et de la main droite, en utilisant un pied à coulisse virtuel (*Screen Calipers*, Iconico, version 4,0) pour mesurer la longueur des doigts directement sur les scans des mains. Le ratio I/A était défini comme la longueur de l'index (des plis du poignet jusqu'au bout du doigt) divisée par la longueur de l'annulaire (Manning, 2002).

### 6.2.3. Mesures de performance langagière

Les variables indépendantes se rapportant à la performance langagière comprenaient des variables intonatives, spectrales et temporelles de la parole et de la voix, de même que des performances cognitives reliées aux habiletés verbales. La séance d'enregistrement comprenait quatre tâches. Ces enregistrements avaient lieu dans une cabine à l'épreuve du bruit et étaient réalisés au moyen d'un micro-casque (AKG, modèle C477) placé à 5 cm des lèvres du sujet. Celui-ci recevait la directive de rester adossé à sa chaise et de bouger le moins possible afin d'éviter d'introduire du bruit dans les enregistrements. Après avoir effectué quelques tests de son, l'expérimentateur allait s'asseoir à son poste de travail à l'extérieur de la cabine, et où il contrôlait le déroulement de la séance par système d'intercom.

La première tâche consistait à produire des mots monosyllabiques en les insérant à la fin de l'énoncé « C'est le mot... ». Le sujet devait d'abord lire à voix haute une feuille

sur laquelle figurait la liste des 30 mots utilisés dans la tâche. On lui demandait ensuite s'il comprenait tous les mots et on lui donnait un exemple du type d'énoncés qu'il aurait à produire. On indiquait au participant de prononcer les mots comme il le ferait normalement. Lorsque le sujet était prêt, chacun des 30 mots cibles apparaissaient un à un en caractères de 200 points sur un écran situé à un mètre du sujet. Chacune des 30 syllabes était présentée à trois reprises (90 stimuli en tout) dans un ordre quasi aléatoire. Lorsque le sujet ne réalisait pas la cible attendue (p. ex. [tu] au lieu de [ty]) ou s'il y avait du bruit autre que de la parole (rire, toux, souffle), le mot cible réapparaissait jusqu'à ce que le participant le produise correctement.

Le Tableau 2 résume les différentes variables de performance langagière mesurées à partir des enregistrements de la première tâche. Les résultats de ces analyses font l'objet de l'**Article 1** (section 7).

Tableau 2. *Mesures des variables langagières de la première tâche.*

Variables	Mesures
<p><b>Aspects spectraux/statiques</b></p> <p><i>Hauteur des formants F1 et F2</i> (Hillenbrand et coll., 1995; Perry et coll., 2001; Diehl et coll., 1996; Peterson et Barney, 1952)</p> <p><i>Dispersion des formants, soit la différence entre F1 et F2 pour chaque voyelle</i> (Rendall et coll., 2005; Simpson, 2001; Simpson et Ericsson, 2007)</p> <p><i>Fréquence à amplitude maximale (peak frequencies) des fricatives</i> (Schwartz, 1968; Ingemann, 1968; Wu et Childers, 1991)</p>	<p>La moyenne (en Hz) de 5 mesures de formants (F1 et F2) pour chacune des voyelles [a], [ɑ], [i], [u] et [y] suivant une analyse FFT avec une fenêtre Blackman de 2048 points (20 % de la fréquence Nyquist) placée à la mi-durée de la voyelle.</p> <p>Suivant les mêmes fonctions et les mêmes ajustements que ci-dessus.</p> <p>La moyenne (en Hz) de 5 mesures de sommets d'amplitude sur l'étendue des bandes de bruit de [s] et [ʃ] suivant une analyse FFT (<i>long-term average</i>) avec lissage et une fenêtre Blackman de 2048 points (60 % de la fréquence Nyquist).</p>



**Aspects temporels/dynamiques**

**Durée des voyelles** (Simpson, 2002; Simpson, 2001; Ericsson et Ericsson, 2001; Hillenbrand et coll., 1995)

**Durée des fricatives** (Whiteside, 1996)

**Délai d'établissement du voisement (VOT) des occlusives** (Whiteside et Marshall, 2001; Whiteside et Irving, 1997; Ryalls et coll., 1997; Swartz, 1992; Karlsson et coll., 2004)

La moyenne (en msec.) de 5 mesures de durée pour chacune des voyelles [a], [ɑ], [i], [u] et [y].

La moyenne (en msec.) de 5 mesures de durée pour chacune des fricatives [s] et [ʃ].

La moyenne (en msec.) de 5 mesures de durée pour chacune des occlusives [p], [t] et [k].

Dans la deuxième tâche, on demandait au sujet de lire un court paragraphe standard « La bise et le soleil » (*North Wind passage*), souvent utilisé pour les tâches de lecture. Dans un premier temps, on laissait le sujet se familiariser avec le texte, qui avait été imprimé sur une feuille. Lorsque le sujet était prêt, on lui demandait de lire le passage à voix haute comme il le ferait s'il était en classe. On lui disait aussi d'essayer de faire en sorte que sa lecture soit fluide en hésitant le moins souvent possible et en évitant de trébucher sur les mots. Les enregistrements des discours réalisés dans le cadre de la deuxième tâche ont été analysés en fonction des variables décrites au Tableau 3. Les résultats de ces analyses ont fait l'objet de l'Article 2 (section 7).

Tableau 3. *Mesures des variables langagières de la deuxième tâche.*

Variables	Mesures
<p><b>Mesures de F0 en fin de groupe intonatif</b></p> <p><b>Moyenne</b> (Hillenbrand et coll., 1995; Perry et coll., 2001; Coleman, 1976; Lass et coll., 1976)</p> <p><b>Étendue</b>, soit la différence entre les valeurs maximale et minimale de F0 (McConnell-Ginet, 1983; Henton, 1989)</p>	<p>La moyenne (en Hz) de 4 mesures de F0 sur la syllabe finale des groupes intonatifs suivant une analyse de F0 (<i>pitch contour</i>) avec une fenêtre Blackman de 25 msec et une progression de 20 msec.</p> <p>Suivant les mêmes fonctions et les mêmes ajustements que ci-dessus.</p>

**Taux de variance** (*écart-type/moyenne*)  
(Lee et coll., 1999; Wu et Childers, 1991;  
Fichtelius et coll., 1992; Brend, 1975)

Suivant les mêmes fonctions et les mêmes ajustements que ci-dessus.

#### Mesures sur l'ensemble de l'enregistrement

**Moyenne de F0** (Hillenbrand et coll., 1995;  
Perry et coll., 2001; Coleman, 1976; Lass et  
coll., 1976)

Suivant les mêmes fonctions et les mêmes ajustements que ci-dessus.

**Débit** (Whiteside, 1996; Byrd, 1994;  
Swartz, 1992)

Mesure (en msec.) à partir d'une représentation oscillographique.

Les tests se terminaient par deux tâches d'accès lexical. Ces tâches ont été ajoutées plus tard dans le protocole expérimental, de sorte que seuls les 20 derniers sujets y ont pris part. Durant ces tâches, les sujets avaient 60 secondes pour trouver le plus de mots possible commençant par une lettre donnée (tâche dite d'associations phonologiques ou AP) ou faisant partie d'une catégorie donnée (tâche dite d'associations sémantiques ou AS). Pour le premier type d'associations, on indiquait aux sujets d'éviter les noms propres, les verbes conjugués et les formes accordées. On l'avisait par exemple que « chanter » et « cheval » seraient acceptés, alors que « chanterait » et « chevaux » seraient rejetés. Un essai de 60 secondes était accordé à chacune des lettres P, R et L. La tâche d'AS impliquait également un essai pour chacune des trois catégories suivantes : animaux, fruits et légumes.

Pour les tâches d'accès lexical, la variable indépendante de performance verbale portait sur le nombre de mots trouvés en 60 secondes durant chacun des trois essais des deux tâches (AP et AS) après avoir exclu les répétitions, les noms propres, les formes conjuguées ou accordées, et les mots qui n'apparaissaient pas dans le dictionnaire. Ces tâches d'accès lexical font l'objet de l'Article 3 de la section 7.

Il faut mentionner que toutes les tâches ont été enregistrées à un taux d'échantillonnage de 44,1 kHz à l'aide d'une carte de son de 16 bits (*CSL4400*, Kay Elemetrics) et que les analyses des deux premières tâches ont été effectuées au moyen de *MultiSpeech* (version 3.1.6, Kay Elemetrics).

En ce qui concerne les analyses statistiques, on a appliqué des corrélations de Pearson entre les variables dépendantes (facteurs biologiques hormonaux : mesures directes de taux de testostérone et mesures morphométriques indirectes) et les variables indépendantes (aspects de la performance langagière : paramètres de F0 de la voix, propriétés spectrales/statiques et temporelles/dynamiques de la parole, habiletés verbales reliées à l'accès lexical). Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de *SPSS* pour Windows (version 11,5).

## 7. Présentation des articles

Dans les pages qui suivent, on présente les trois articles qui forment le corps du présent travail et qui portent sur les effets des facteurs hormonaux et morphométriques sur divers aspects du comportement langagier. Plus précisément, l'**Article 1** porte sur les corrélations entre le niveau de testostérone, les mesures physiologiques et certaines variables temporelles et spectrales de la parole qui sont associées au genre. L'**Article 2** examine les effets de la testostérone sur le débit et les paramètres vocaux reliés à la F0. Enfin, l'**Article 3** traite des considérations méthodologiques dans l'étude des liens entre les taux hormonaux et les performances d'accès lexical. Concernant la contribution respective des deux auteurs de ces articles, le premier auteur (C. Lamoureux) a pris en charge toutes les étapes de la présente recherche (formulation des hypothèses, recension de la littérature, conception des tâches, recrutement des sujets, collecte des données, analyse des résultats, rédaction des articles). Le second auteur (V. Boucher) a supervisé la recherche.

**7.1. Article 1 : *Linking testosterone, physiological dimensions, and speech behavior: A preliminary report***

Résumé :

Certains sociolinguistes ont identifié des variables phonétiques associées à la perception de l'orientation sexuelle chez les hommes. Ces variables incluent la durée et les fréquences d'amplitude maximale (dorénavant FAM) des fricatives [s] et [ʃ], le délai d'établissement du voisement (*VOT*) des occlusives, ainsi que la durée et les formants de certaines voyelles. Des théories récentes postulent que ces caractéristiques acoustiques sont motivées socialement et que les locuteurs les acquièrent afin de signaler leur identité ou leur appartenance à un groupe. Dans une autre perspective, la présente étude examine le rôle des facteurs biologiques (hormonaux et morphométriques) sur les caractéristiques phonétiques reliées à l'orientation sexuelle chez les hommes. On a recueilli les échantillons de salive de 40 hommes âgés entre 20 et 27 ans afin de mesurer leur taux de testostérone. On a aussi mesuré la taille (hauteur), le poids, de même que la longueur des jambes et des bras des sujets. Par ailleurs, on a demandé aux participants de produire 30 mots cibles composés d'une consonne (occlusive ou fricative) et d'une voyelle. L'analyse acoustique de ces mots cibles a révélé une corrélation négative significative entre le taux de testostérone et la durée des voyelles et des fricatives. On a également obtenu des corrélations significatives entre la taille des sujets et certaines mesures de formants vocaliques. Ces résultats remettent en question les hypothèses sociolinguistiques sur les origines du *gay-sounding speech* et suggèrent que bon nombre des caractéristiques phonétiques reliées à l'orientation sexuelle découle de facteurs d'ordre biologique.

Cet article est le compte-rendu des résultats présentés dans le cadre du 4<sup>th</sup> *International Gender and Language Association Conference*, qui a eu lieu du 8 au 10 novembre 2006 à Valence, en Espagne.

## Linking testosterone, physiological dimensions, and speech behavior: A preliminary report

Charles A. Lamoureux ~ Victor J. Boucher  
*Université de Montreal*

### Abstract

Sociolinguistic studies have identified phonetic variables associated with perceived sexual orientation in men. These variables include duration and peak frequencies of /s/, VOT of voiceless stops, as well as duration and formant values of certain vowels. Some current theories posit that these speech characteristics are socially motivated in that speakers acquire them to signal identity or group affiliation. Adopting another perspective, the present study examines the role of biological (i.e. hormonal and anthropometric) factors on phonetic characteristics related to male sexual orientation. Saliva samples were collected from 40 men aged between 20 and 27 years in order to evaluate testosterone levels. Height, weight, and length of arms and legs were also measured. Subjects were then asked to produce 30 target words each composed of a consonant (voiceless stop or fricative) and a vowel. Acoustic analyses of the target words showed significant negative relationships between testosterone levels and duration of vowels and fricatives. Significant correlations also appeared between subjects' height and F2 of front vowels. These findings question certain sociolinguistic assumptions on the origin of gay-sounding speech and suggest that a number of the phonetic characteristics related to sexual orientation would be biologically based.

**Key words:** *Salivary testosterone ~ physiological morphology ~ speech and voice ~ gay-soundingness*

### 1. Introduction

In the last decade, a new line of sociolinguistic study has emerged with, as principal object of interest, phonetic variables related to the

perception of sexual orientation. A number of speech characteristics have been identified as gay-sounding. These characteristics include higher peak frequencies and longer duration of fricative /s/, longer duration and greater formant dispersion of some vowels, and longer voice onset times (VOT) for voiceless stops (Linville 1998; Pierrehumbert, Bent, Munson, Bradlow & Bailey 2004; Smyth, Jacobs & Rogers 2003). Gay-soundingness has been shown to be perceptually related to feminine-soundingness (Gaudio 1994; Smyth *et al* 2003). This association finds a likely explanation in the similarities between speech patterns that characterize so-called gay-sounding men and those reported for women (Diehl, Lindblom, Hoemeke & Fahey 1996; Schwartz 1968; Whiteside & Irving 1997).

Yet, a central assumption of the above research is that the speech features associated with gay- and feminine-sounding male speech are acquired. The features are seen to be manipulated more or less consciously by speakers to convey group affiliation. Such interpretation seems to dismiss a priori the possibility that the features may reflect an influence of biological (e.g. hormonal or anthropometric) factors on speech production.

For instance, Linville (1998) observed that the gay men who took part to her study produced /s/ with higher peak frequencies than their straight counterparts, and hypothesized that this could reflect an articulatory pattern acquired unconsciously to signal group affiliation. As for the longer /s/ productions of the gay subjects, the author argued that "by increasing the duration of a fricative, presumably the speaker would be drawing attention to it" (p. 46), using this lengthening as a marker of membership in the gay male community. In considering biological factors, Linville (1998) measured the subjects' height and weight. She reported that gay and straight men did not differ considerably on these points, concluding that the articulatory features demonstrated in gay men's speech do not result from smaller dimensions of the oral cavity. However, this study was based on only nine subjects. Another example is the study by Avery & Liss (1996), who observed that vowel formants of less masculine-sounding men tended to be higher than those of more masculine-sounding men, though the

difference did not reach significance. The authors interpreted these differences as being stylistically motivated, in that it was their impression that their subjects were not *greatly* disparate in height (but subjects' height was not controlled in the study).

Interpretations that seemingly take for granted the learning of gay- and feminine-sounding speech features lead to several fundamental puzzles. Learning of sociolinguistic variants, as seen in early studies by Labov (1972), is generally motivated by the speakers' awareness that some variants are socially stigmatized, while others are associated with power and prestige. Smyth *et al* (2003) point out that gay-sounding speech can be stigmatized even *within* the gay community. Thus, the assumption that a group of individuals would modify their speech to adopt stigmatized variants appears counterintuitive. Furthermore, the suggestion that gay men borrow or imitate women's speech patterns (whether consciously or not) to project gay identity appears problematic. In fact, Smyth *et al* (2003) noted that perceived and actual sexual orientation of their subjects did not *always* match, with some gay speakers sounding straight, and some straight speakers sounding gay. Considering this observation, one might well ask what social condition would lead some heterosexual men to learn speech patterns that may convey deceptive information of their sexual orientation.

Adopting a different tact, Pierrehumbert *et al* (2004) alluded to innate biological factors as playing an indirect role in gay-soundingness. Their study showed that formants of some vowels produced by gay men shifted toward more extreme values compared to the vowels produced by straight men. According to the authors, such speech characteristics could either reflect the manipulation of a special register learned in adolescence to convey affiliation to the gay community, or the selective adoption of certain female speech features during early language acquisition. Although Pierrehumbert *et al* (2004) offered no empirical support for this interpretation, they explicitly refer to genetic disposition and prenatal environment as potential triggers of such behaviors.

Relationships between oral physiology and speech acoustics have been widely studied (e.g. Simpson 2001; Sulter, Miller, Wolf, Schütte,



Wit & Mooyaart 1992). Yet, Dabbs & Mallinger (1999), and Bruckert, Liénard, Lacroix, Kreutzer & Leboucher (2006) are among the few authors who have examined the effects of endocrinal substances on speech and voice. Their studies demonstrated that men with low salivary testosterone levels had a higher voice pitch (Dabbs & Mallinger 1999) and higher vowel formants (Bruckert *et al* 2006) than men with high testosterone levels. Such findings suggest that testosterone might affect the development of the physiological structures implicated in phonation and articulation. In fact, the influence of sex hormone exposure on growth and morphology is well documented (e.g. Kerrigan & Rogol 1992; Martin, Clark & Connor 1968). This research indicates that at least some aspects of speech and voice behavior are not socially but biologically determined.

Considering the preceding studies, and in light of the above issues, the aim of the present research was to examine the effects of hormonal and anthropometric factors (namely, salivary testosterone levels and physiological dimensions) on speech, and especially on the phonetic variables that have been associated with gay- and feminine-soundingness.

## **2. Method**

### *2.1. Subjects*

Forty (40) paid participants were recruited on the campus of the Université de Montréal during the summer and fall of 2006. They were all native speakers of Québec French aged between 20 and 27 years (average 24.07 years) with no history of speech problems. Use of medication, presence of oral abscess or gingivitis, and diabetes were exclusion criteria (Granger, Shirtcliff, Booth, Kivlighan & Schwartz 2004).

### *2.2. Questionnaire*

After having read and signed a consent form, the participants answered a short questionnaire bearing on different aspects of their personal

situation (study program, place of birth, ethnocultural background, sexual orientation).

### 2.3. Saliva samples

Prior to saliva collection, subjects were required to abstain from eating or drinking beverages other than water on the morning of the experiment (Lipson & Ellison 1989). They were also asked to avoid using toothpaste, dental floss or chewing gum (Dabbs 1991). Samples were collected two hours after wake-up. At the time of the test, subjects placed a pH paper (Precision Labs, no. 5090) under their tongue for two seconds to ensure pH neutrality. All subjects presented a salivary pH above 6.0. Then, the subjects washed their hands thoroughly with water and soap and rinsed their mouth twice with cool water to stimulate saliva production. A 10-ml saliva sample was collected in a sterile tube, and the samples were frozen at a temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$  within two hours following the test. Subjects were informed of the purpose of the saliva sampling at the end of the recording session in order to avoid a biasing of speech style.

### 2.4. Physiological measurements

Height and weight of each subject were measured using a standard medical scale (Seca, Model 700). To assess length of legs and arms, subjects were asked to form a  $90^{\circ}$  angle at joints by placing each limb on a specially designed graduated stand. Measurements were repeated twice for each limb.

### 2.5. Speech recording

The subjects' task consisted in producing target words presented on a computer screen. In performing the task, each participant sat in a sound-treated booth with a microphone on a headset (AKG, Model C477) placed at 5 cm and at a  $45^{\circ}$  angle from their lips. On a computer monitor placed at one meter from the speaker, 30 monosyllables constituting words were presented three times in random order. These monosyllables comprised a consonant (one of [p, t, k, s, ʃ, l]) and a vowel (one of [a, e, i, u, y]), giving the following set of target words:

<i>Pa</i>	[pa]	'Pa(tricia) 'Cha(rlotte)'	<i>Ca</i>	[ka]	'Ca(therine)'	<i>Cha</i>	[ʃa]	
<i>pas</i>	[pa]	'not'	<i>cas</i>	[ka]	'case'	<i>chat</i>	[ʃa]	'cat'
<i>pie</i>	[pi]	'magpie' 'craps'	<i>qui</i>	[ki]	'who'	<i>chie</i>	[ʃi]	
<i>pou</i>	[pu]	'louse' 'cabbage'	<i>cou</i>	[ku]	'neck'	<i>chou</i>	[ʃu]	
<i>pus</i>	[py]	'pus'	<i>cul</i>	[ky]	'arse'	<i>chu</i>	[ʃy]	'I'm'
<i>ta</i>	[ta]	'your'	<i>sa</i>	[sa]	'his, her'	<i>la</i>	[la]	'the'
<i>tas</i>	[ta]	'heap' 'there'	<i>ça</i>	[sa]	'that'	<i>là</i>	[la]	
<i>ti</i>	[ti]	'lil' 'dregs'	<i>si</i>	[si]	'if'	<i>lie</i>	[li]	
<i>toux</i>	[tu]	'cough' 'wolf'	<i>sou</i>	[su]	'cent'	<i>loup</i>	[lu]	
<i>tu</i>	[ty]	'you' 'read'	<i>su</i>	[sy]	'known'	<i>lu</i>	[ly]	

The subjects were instructed to produce the target words in a natural and neutral way by inserting them at the end of the carrier phrase *C'est le mot...* ("It's the word..."). The obtained utterances were recorded at a sampling rate of 44.1 kHz using a 16-bit soundcard (*CSL 4400*, Kay Elemetrics).

#### 4. Analysis

##### 4.1. Salivary testosterone assays

Saliva samples were assayed at an accredited laboratory (*Rocky Mountain Analytical*, Alberta, Canada), following a standardized procedure. First, an extraction of each sample was done to concentrate the hormones. To ensure reliability, the samples were duplicated and assayed twice. If the agreement between the two duplicates was poor, a second independent extraction was performed.

##### 4.2. Acoustic analysis

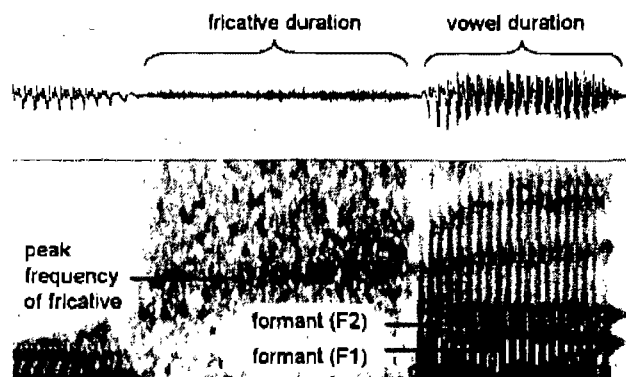
One token of each target word was analyzed using a signal analysis software (*MultiSpeech*, Kay Elemetrics). Duration measurements were

made from a waveform display, as illustrated in Figure 1. Five VOT values, five vowel durations, and five fricative durations were obtained and averaged for each voiceless stop/vowel/fricative, and for each subject.

As for frequency measurements, these were performed via spectrographic displays (see Figure 1 for an example). The first and second formants (F1 and F2) of each vowel were measured at the midpoint of vowel durations via a 2048-point FFT (Blackman window, 20% Nyquist). The peak frequencies of /s/ and /ʃ/ were obtained using smoothed 2048-point long-term average power spectra (Blackman window, 60% Nyquist). Additionally, mean speaking  $F_0$  was measured by applying peak-detection routines across the voiced portion of the carrier phrase corresponding to *est le mot* [eləmo], using a frame length of 25 ms and a 25-ms frame advance. Ten vowel formants and five fricative peak frequencies were obtained and averaged for each vowel and fricative produced by the speakers.

Measurement accuracy was assessed by repeating measures for two subjects. Accuracy was within  $\pm 7$  ms for duration and  $\pm 18$  Hz for spectral measures.

Figure 1.- Example of temporal and spectral measurements



#### 4.3. Statistical analysis

An initial inspection of the raw data showed that the variables relating to testosterone levels, vowel formants and fricative peak frequencies were positively skewed so a logarithmic transformation was performed to these variables prior to the application of parametric tests. Pearson correlations were then performed using SPSS (version 11.5).

### 5. Results

Table 1 summarizes the significant negative correlations that were obtained between salivary testosterone levels and variables of vowel duration. Testosterone levels also correlate significantly with duration of /s/ ( $p = .019$ ), and marginally with duration of /ʃ/ ( $p = .055$ ).

The results also revealed significant negative relationships between subjects' height and F2 of /i/ ( $p = .041$ ), /y/ ( $p = .003$ ), and vowels overall ( $p = .011$ ). Finally, subjects' weight correlates marginally with peak frequency values for /s/ ( $p = .060$ ), but significantly overall for fricatives ( $p = .030$ ). The other correlations were not significant.

Table 1.- Pearson coefficients between testosterone levels and duration variables ( $n = 40$ )

		[a]	[a]	[i]	[u]	[y]	Overall
Vowels	<i>r</i>	-.489	-.410	-.453	-.428	-.526	-.390
	<i>p</i>	.001	.009	.003	.006	.000	.013
		[s]		[ʃ]			Overall
Fricatives	<i>r</i>	-.370		-.305			-.347
	<i>p</i>	.019		.055			.028

### 6. Discussion

Overall, the results indicate a number of significant negative relationships between salivary testosterone levels and duration of vowels and fricatives. This finding may be interpreted in different ways. On the one hand, the durational variations may be the consequence of hormonal factors acting directly on the temporal organization of speech (with higher testosterone levels corresponding to quicker movements). Speech timing may also be influenced by attention processes, which play an important part in verbal and serial memory, and which are affected by testosterone levels (Janowsky *et al* 2000).

As for the significant relationships observed between physiological dimensions (height and weight) and spectral variables (F2 and fricative peak frequencies, respectively), it is known that variations in the size and shape of the oral cavity affect acoustic resonances. Sex hormone exposure early in life may affect vocal tract growth, and this could be reflected in different resonances. In short, hormonal factors may have more direct or instantaneous consequences on speech timing, but only indirect consequences on spectral properties mediated by developmental changes in morphology.

A central aspect of the present results is that they parallel those obtained in research on sex-related speech differences. Specifically, men with low testosterone levels seem to present speech patterns approaching the ones reported for women (e.g. Whiteside 1996). On this basis, it might be argued that there is a single masculine-feminine continuum accounting simultaneously for between- and within-sex speech differences (Smyth *et al* 2003). However, the present observations do not support the notion that feminine- or gay-sounding speech characteristics are learned and manipulated to convey gender identity. Rather, the results indicate that a number of these characteristics may derive from biological factors. Moreover, further study on a larger number of subjects would be required to determine conclusively whether other near-significant variables in this report are not biologically influenced.

In terms of future investigations, it is of central interest to establish the nature of the links between testosterone and speech in general, and speech timing in particular. These links may bear paramedical

implications, insofar as hormonal treatments, and especially the administration of testosterone supplements, is a growing practice in a demographically aging population.

### References

- Avery, J. D. & J.M. Liss (1996) "Acoustic characteristics of less-masculine-sounding male speech." *Journal of the Acoustical Society of America* 99: 3738-3748.
- Bruckert, L. *et al* (2006) "Women use voice parameters to assess men's characteristics." *Proceedings of the Royal Society B* 273: 83-89.
- Dabbs, J. M. (1991) "Salivary testosterone measurements: Collecting, storing, and mailing saliva samples." *Physiology & Behavior* 49: 815-817.
- Dabbs, J. M. & A. Mallinger (1999) "High testosterone levels predict low voice pitch among men." *Personality and Individual Differences* 27: 801-804.
- Diehl, R. L. *et al* (1996) "On explaining certain male-female differences in the phonetic realization of vowel categories." *Journal of Phonetics* 24: 187-208.
- Gaudio, R. P. (1994) "Sounding gay: Pitch properties in the speech of gay and straight men." *American Speech* 69: 30-57.
- Granger, D.A. *et al* (2004) "The "trouble" with salivary testosterone." *Psychoneuroendocrinology* 29: 1229-1240.
- Kerrigan, J. R. & A.D. Rogol (1992) "The impact of gonadal steroid hormone action on growth hormone secretion during childhood and adolescence." *Endocrine Reviews* 13: 281-298.
- Labov, W. (1972) *Sociolinguistic Patterns*. Oxford: Blackwell.
- Linville, S.E. (1998) "Acoustic correlates of perceived versus actual sexual orientation in men's speech." *Folia Phoniatica et Logopaedica* 50: 35-48.
- Lipson, S.F. & P.T. Ellison (1989) "Development of protocols for the application of salivary steroid analyses to field conditions." *American Journal of Human Biology* 1: 249-255.
- Martin, J.T. *et al* (1968) "Growth hormone secretion enhanced by androgens." *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 28: 425-430.
- Pierrehumbert, J. B. *et al* (2004) "The influence of sexual orientation on vowel production." *Journal of the Acoustical Society of America* 116: 1905-1908.
- Schwartz, M.F. (1968) "Identification of speaker sex from isolated, voiceless fricatives." *Journal of the Acoustical Society of America* 43: 1178-1179.
- Simpson, A.P. (2001) "Dynamic consequences of differences in male and female vocal tract dimensions." *Journal of the Acoustical Society of America* 109: 2153-2164.

- Smyth, R. *et al* (2003) "Male voices and perceived sexual orientation: An experimental and theoretical approach." *Language in Society* 32: 329-350.
- Sulter, A.M. *et al* (1992) "On the relation between the dimensions and resonance characteristics of the vocal tract: A study with MRI." *Magnetic Resonance Imaging* 10: 365-373.
- Whiteside, S.P. & C.J. Irving (1997) "Speakers' sex differences in voice onset time: Some preliminary findings." *Perceptual and Motor Skills* 85: 459-463.
- Whiteside, S.P. (1996) "Temporal-based acoustic-phonetic patterns in read speech: Some evidence for speaker sex differences." *Journal of the International Phonetic Association* 26: 23-40.



**7.2. Article 2 :** *Effects of testosterone levels on temporal and intonational aspects of speech: More exploratory data*

Résumé :

Un nombre croissant d'études porte sur les effets des facteurs hormonaux sur la parole et le comportement langagier. La présente recherche explore les liens entre le taux de testostérone des locuteurs et des aspects suprasegmentaux de la parole tels que le débit et diverses mesures de fréquence fondamentale (F0) dans les groupes intonatifs (dorénavant GI). On a effectué un prélèvement de salive auprès de 40 hommes âgés entre 20 à 27 ans dans le but de mesurer leur taux de testostérone. D'autre part, on a enregistré les sujets alors qu'ils lisaient un texte. Les analyses acoustiques des enregistrements indiquent que les sujets dont le taux de testostérone est faible avaient tendance à utiliser une F0 plus élevée et plus variable que les autres, particulièrement en fin de GI. De plus, les résultats indiquent une corrélation significative entre la testostérone salivaire et le débit en lecture. Cette étude appuie l'hypothèse selon laquelle certaines différences langagières intra-sexuelles reposent sur des facteurs hormonaux.

Cet article est le compte-rendu des résultats présentés dans le cadre du *8<sup>th</sup> Annual Conference of the International Speech Communication Association*, qui a eu lieu du 27 au 31 août 2007 à Anvers, en Belgique.



# Effects of testosterone levels on temporal and intonational aspects of speech: More exploratory data

*Charles A. Lamoureux, Victor J. Boucher*

Laboratoire de sciences phonétiques, Département de linguistique et de traduction  
Université de Montréal, Montréal, Canada

## Abstract

There is a growing body of work on the effects of hormonal factors on speech and language behavior. The present research explores the links between speakers' testosterone levels and suprasegmental aspects of speech, namely speaking rate and pitch measures for intonational phrases. Saliva samples were collected from 40 men aged between 20 and 27 years in order to assess testosterone levels. Subjects were recorded reading a standard text. Acoustic analyses of the readings revealed significant correlations where speakers with low testosterone levels tended to use higher and more variable pitch than speakers with high testosterone levels at phrase boundaries. Furthermore, the results also showed significant relationships between salivary testosterone and speaking rate during the readings. These findings reinforce the assumption that some within-sex differences in speech and voice may be based on hormonal factors.

**Index Terms:** speech acoustics, speech physiology, voice, salivary testosterone, prosody

## 1. Introduction

Within linguistics, perhaps since the influential work of Labov [1], there is the view that certain aspects of speech called "free variants" are learned and manipulated by the speakers to convey social identity or affiliation. However, several studies suggest that some of these variants may not be socially motivated, but may rather reflect the influence of hormonal factors.

For instance, mean fundamental frequency (F0), or pitch, has been shown to vary with sex [2]. Considering intrasexual pitch differences, Dabbs and Mallinger [3] found that, for male speakers, there are significant correlations between testosterone levels and mean voice pitch. Furthermore, Meuser and Nieschlag [4] reported higher testosterone plasma levels in bass and baritone singers than in tenor singers. These results suggest that within-sex variation in mean F0 is biologically based. Nonetheless, several attempts have been made to relate this variation with actual or perceived sexual orientation (e.g., [5,6]).

Temporal aspects of speech such as voice onset time (VOT), duration of vowels and fricatives, and speech rate also appear to present sex-related differences, with women producing longer sounds and speaking at a lower rate than men [7,8,9]. Smyth and Rogers [6] hypothesized that differences in VOT and vowel duration that were observed among male speakers may be socially motivated. However, we reported in an earlier presentation [10] that durations of vowels and fricatives correlate with salivary testosterone.

This latter study focused on subjects' productions of syllables at the end of a carrier phrase (i.e. *C'est le mot...* for "It's the word..."). We did not consider temporal and intonational changes within utterance contexts. On the other hand, in exploring speech timing and intonational properties of utterances, one faces several methodological problems. Aspects such as speaking F0 can vary extensively in spontaneous discourse according to situational variables such as topic. Since, at this stage, little is known about aspects of utterances that can fluctuate with hormonal factors, controlled contexts were deemed more useful than spontaneous speech in isolating relevant properties. In particular, the present study focused on speech rate and F0 values at the boundaries of intonational phrases within readings of a standard text. The overall aim of the observations (including those of Lamoureux and Boucher [10]) is to arrive at a more comprehensive record of the types of fluctuations in speech and language that relate to hormonal factors, and to clarify the nature of certain marks that may have been erroneously interpreted.

## 2. Method

### 2.1. Subjects

Forty (40) paid participants, mostly students at the Université de Montréal, served as subjects. These individuals were all native speakers of Québec French and aged between 20 and 27 years (average 24.07 yrs) with no history of speech problems. Use of medication, presence of oral abscess or gingivitis, and diabetes were exclusion criteria [11].

### 2.2. Saliva sampling

Prior to saliva collection, subjects were required to abstain from eating or drinking beverages other than water on the morning of the test [12]. They were also asked to avoid using toothpaste, dental floss or chewing gum [13]. Samples were collected two hours after wake-up. At the time of the experiment, subjects placed a pH paper (Precision Labs, no. 5090) under their tongue for two seconds to ensure pH neutrality. All subjects presented a salivary pH above 6.0. Then, the subjects washed their hands thoroughly with water and soap and rinsed their mouth twice with water to stimulate saliva production. A 10-ml saliva sample was collected in a sterile tube, and the samples were frozen at a temperature of -20°C within two hours following the test. Subjects were only tested once, since single testosterone assays have been reported to be reliable enough for behavioral research [13].

They were informed of the purpose of the saliva sampling only at the end of the recording session to avoid a biasing of speech style.

### 2.3. Speech recording

The subjects sat in a sound-treated booth with a microphone on a headset (AKG, model C477) placed at 5 cm and at a 45° angle from their lips. They were asked to read *The North Wind* passage [14] as naturally as possible without hesitation. They were given time to familiarize themselves with the text. The readings were recorded at a sampling rate of 44.1 kHz using a 16-bit soundcard (CSL4400, Kay Elemetrics).

### 2.4. Analysis

#### 2.4.1. Salivary testosterone assays

Saliva samples were assayed at an accredited laboratory (*Rocky Mountain Analytical*, Alberta, Canada), following a standardized procedure. First, an extraction of each sample was done to concentrate the hormones. The reliability of assays was ensured by repeating assays on duplicated samples. If the agreement between the two duplicates was poor, a second independent extraction was performed.

#### 2.4.2. Acoustic analysis

The readings were analyzed using signal analysis software (*MultiSpeech*, version 3.1.6, Kay Elemetrics). Prior to the analyses, hesitations, pauses between utterances, and non-speech sounds were removed. Then, speech rate was measured as the duration of the entire reading divided by the number of syllables (162) in the text. As for F0 values, these were measured via peak-detection routines of *CSL4400* (Kay Elemetrics). From listening to the recordings, end portions of intonational phrases possessed particular fluctuations that were feminine-sounding in some subjects. Several subsequent measures confirmed that F0 variations were particularly marked at these phrasal end points, which are typically lengthened in French [15]. On this basis, F0 values were measured with reference to the last syllable of the four first intonational phrases of the reading. All F0 analyses were performed by setting functions to a frame length of 25 ms and a 20-ms frame advance. For some speakers, F0 fluctuated to quite low values, sometimes extending to a "creaky voice". In those cases, the software could not detect pitch, so peaks were visually detected on waveform displays and voice period marks were manually added. The analyzed variables included F0 mean, minimum, maximum, range and variance (standard deviation/mean).

## 3. Results

It should be noted that a preliminary analysis of pitch applied on the whole reading sample correlated only marginally with testosterone levels ( $p = .06$ ). Subsequent analyses focused on the final syllable of the first four intonational phrases, as described in the above section.

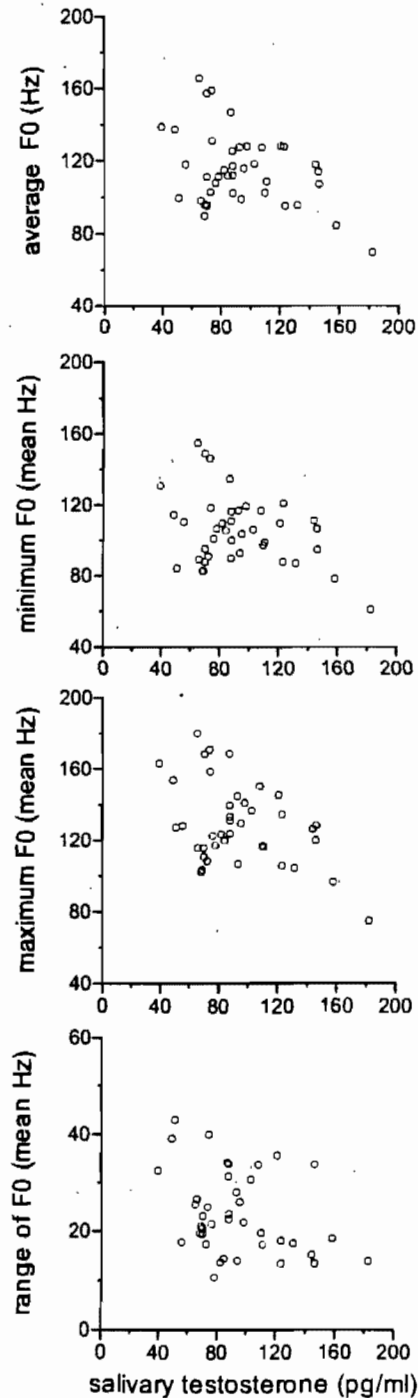


Figure 1. Relationships between salivary testosterone levels and various F0 measures ( $n = 40$ ).

As for the main results, correlations analyses revealed that salivary testosterone levels of the 40 speakers are significantly associated with average F0 ( $r = -.393$ ,  $p = .012$ ). The correlations were also significant for minimum F0 ( $r = -.360$ ,  $p = .023$ ), maximum F0 ( $r = -.432$ ,  $p = .005$ ), and range of F0 ( $r = -.331$ ,  $p = .037$ ). It should be noted that the magnitude of these correlations is similar to that of other studies relating salivary testosterone and pitch (e.g., Dabbs [3] reported  $r = -.26$  for  $n = 59$ ). On the other hand, the

relationship between testosterone levels and F0 variance did not reach significance ( $r = -.168$ ,  $p = .302$ ). The data plots for the significant variables are presented in Fig. 1. By reference to the distribution of data points, z scores indicated that none constituted outliers ( $z$  score  $< 3.29$ ) [16].

Significant correlation was also obtained in terms of speech rate ( $r = .377$ ,  $p = .017$ ). Fig. 2 illustrates the distribution of measures for this variable.

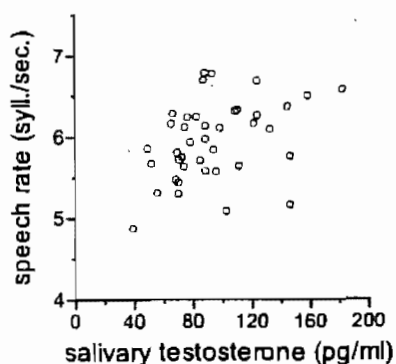


Figure 2. Speech rate as a function of salivary testosterone levels ( $n = 40$ ).

#### 4. Discussion

The above results corroborate previous studies that found a significant correlation between testosterone levels and mean F0 [3,4]. It may be argued that differences in pitch result from variations in the length and mass of vocal folds, which may be affected by hormone exposure during development. However, these well-known effects of hormonal factors on peripheral morphology do not, as such, serve to explain the particular pitch patterns that were produced at phrase-final points and that appear to be related to testosterone levels. In fact, the biological underpinnings of such patterns are difficult to ascertain. On the other hand, the differences in speech timing that were observed in the present study conform to general effects of testosterone on rapidity of motor and psychomotor processes [17].

An interesting aspect of the results is that the wide pitch range and slow speaking rate found in men with low testosterone levels conform to values reported for female speech (e.g., [9]). These observations offer further support for the assumption that between- and within-sex speech differences may be best described in terms of a single masculine/feminine continuum [6].

#### 5. Prospective conclusion

The above study is part of an ongoing research program aimed at uncovering the effects of hormonal factors not only on speech, but also on language and cognitive processes. In fact, these behaviors are likely to be linked. For instance, shorter duration of sounds, quicker movements and shorter reaction times may all be fundamentally related to higher testosterone levels [10,17]. Moreover, observations of a link between hormonal factors and a number of speech variables offer support for theories of primitive sound symbolism [18]. Thus, research on hormonal factors not only bear implications on distinguishing learned and innate aspects of speech, but may also lead to explanations of the rise of meaningful signs in human communication.

#### 6. References

- [1] Labov, W., *Sociolinguistic Patterns*, Blackwell, Oxford, 1972.
- [2] Hillenbrand, J. M., Getty, L. A., Clark, M. J., and Wheeler, K., "Acoustic characteristics of American English vowels", *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(5):3099-3111, 1995.
- [3] Dabbs, J. M. and Mallinger, A., "High testosterone levels predict low voice pitch among men", *Personality and Individual Differences*, 27:801-804, 1999.
- [4] Meuser, W. and Nieschlag, E., "Sexualhormone und Stimmlage des Mannes", *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 8(102):261-264, 1977.
- [5] Gaudio, R. P., "Sounding gay: Pitch properties in the speech of gay and straight men", *Amer. Speech*, 69:30-57, 1994.
- [6] Smyth, R. and Rogers, H., "Phonetics, gender, and sexual orientation", *Proceedings of the Annual Meeting of the Canadian Linguistics Association*, 2002, p 299-301.
- [7] Whiteside, S. P. and Irving, C. J., "Speakers' sex differences in voice onset time: Some preliminary findings", *Perceptual and Motor Skills*, 85:459-463, 1997.
- [8] Ericsson, C. and Ericsson, A. M., "Gender differences in vowel duration in read Swedish: Preliminary results", *Lund Working Papers*, 49:34-37, 2001.
- [9] Whiteside, S. P., "Temporal-based acoustic-phonetic patterns in read speech: Some evidence for speaker sex differences", *Journal of the International Phonetic Association*, 26(1):23-40, 1996.
- [10] Lamoureux, C. A. and Boucher, V. J., "Linking testosterone, physiological dimensions, and speech behavior: A preliminary report", *Proceedings of the 4th International Gender and Language Association Conference*, to appear.
- [11] Granger, D. A., Shirtcliff, E. A., Booth, A., Kivlighan, K. T., and Schwartz, E. B., "The 'trouble' with salivary testosterone", *Psychoneuroendocrinology*, 29:1229-1240, 2004.
- [12] Lipson, S. F. and Ellison, P. T., "Development of protocols for the application of salivary steroid analyses to field conditions", *American Journal of Human Biology* 1:249-255, 1989.
- [13] Dabbs, J. M., "Salivary testosterone measurements: Collecting, storing, and mailing saliva samples", *Physiology and Behavior*, 49:815-817, 1991.
- [14] International Phonetic Association, *Handbook of the International Phonetic Association: A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [15] Hirst, D. and DiCristo, A., *Intonation Systems: A Survey of Twenty Languages*, Cambridge University Press, New York, 1998.
- [16] Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S., *Using Multivariate Statistics*, Harper Collins, Northridge, 1996.
- [17] Muller, J. M., "Salivary testosterone and simple reaction time parameters", *Neuropsychobiology*, 30(4):173-177, 1994.
- [18] Ohala, J. J., "The frequency code underlies the sound-symbolic use of voice pitch", *Sound Symbolism*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997, p 325-347.

**7.3. Article 3 : *Effects of testosterone levels on lexical access: Results and methodological considerations for future research***

Résumé :

Bien que des rapports cliniques aient démontré que les traitements hormonaux pouvaient affecter certaines habiletés verbales, les résultats provenant d'études comparatives présentent des divergences. Les travaux portant sur les liens entre le taux de testostérone et les performances lexicales sont particulièrement contradictoires. Ce manque de cohérence pourraient découler de différences dans les procédures adoptées. La présente étude a donc pour but de réexaminer les effets de la testostérone sur l'accès lexical à la lumière de certaines considérations méthodologiques. Vingt (20) participants de sexe masculin âgés entre 20 et 27 ans ont produit un échantillon de salive dont le taux de testostérone a été mesuré. Les sujets ont également pris part à une tâche d'accès lexical par associations phonologiques, durant laquelle ils devaient nommer en 60 secondes le plus de mots possibles commençant par une lettre donnée. Une deuxième tâche consistait à trouver le plus grand nombre possible de mots faisant partie d'une certaine catégorie sémantique. Chacune des deux tâches lexicales comportait trois essais. Les analyses statistiques révèlent une corrélation négative significative entre le taux de testostérone salivaire et le nombre de mots trouvés lors des deux derniers essais de la tâche d'associations phonologiques. Par contre, les liens entre le niveau de testostérone et les scores obtenus dans la tâche d'associations sémantiques ne sont pas significatifs. Les présents résultats suggèrent que l'amplitude des effets hormonaux sur les performances lexicales varie en fonction du type d'associations impliquées par la tâche, du nombre et de l'ordre de présentation des essais. La discussion fait état d'implications sur les hypothèses des effets hormonaux sur l'accès lexical, et sur le design de tâches qui pourrait démontrer ces effets.

Cet article est en préparation en vue d'être soumis à la revue *Gender and Language*.

## **Effects of testosterone levels on lexical access: Results and methodological considerations for future research**

*Charles A. Lamoureux & Victor J. Boucher*

### **Abstract**

Although some clinical reports have demonstrated that hormone treatments can affect verbal abilities, across-subject studies bearing on the links between testosterone levels and lexical performance show conflicting results. This lack of consistency may be due to the fact that authors have followed different procedures. The aim of the present study was to re-examine the effects of testosterone on verbal fluency by taking certain methodological considerations into account. Twenty (20) male participants aged 20-27 years produced a saliva sample in order to assess testosterone levels. Subjects also took part to a phonological association fluency task, where they had to find as many words as possible beginning with a given letter within a period of 60 seconds. In the second lexical task, they were asked to find as many words as possible belonging to a certain semantic category. Each of the two tasks included three trials. Statistical analyses revealed a significant negative correlation between salivary testosterone levels and the number of words retrieved on the two last trials of the phonological association task. However, the relationships were not significant for the semantic association task. The results suggest that the magnitude of hormonal effects on lexical performance is sensitive to the type of associations required by the task, the number and order of trials. The present study bears implications on the viability of assumptions of hormonal effects on verbal fluency and on the design of tasks that would capture these effects.

### **Introduction**

Sex-related variation in voice, speech, and language are well attested, and seemingly uncontroversial. For instance, it is known that, compared to male speakers, women have higher fundamental frequency, or F0 (Hillenbrand, Getty, Clark & Wheeler, 1995; Perry, Ohde & Ashmead, 2001; Coleman, 1976; Lass, Hughes, Bowyer, Waters & Bourne, 1976). Studies suggest that women speak at slower rates than men (Whiteside, 1996), often producing characteristic lengthening of certain sounds (e.g., Ericsson & Ericsson, 2001), as well as higher vowel formants (Hillenbrand et al., 1995) and fricative spectral components (e.g., Schwartz, 1968). As for language, research indicates that females tend to have a larger and more diverse vocabulary than males (e.g. Lutchmaya, Baron-Cohen & Raggatt, 2002). Finally, women typically outperform men on tasks involving verbal skills (Halpern, 2000; Gordon & Lee, 1986; Kimura, 1999). Many of the above studies have led to the generally accepted interpretation that sex-related differences in speech and language are associated with physiological or biological factors (Titze, 1989; Dabbs & Mallinger, 1999; Meuser & Nieschlag, 1977; Lamoureux & Boucher, 2007; Bruckert, Liénard, Lacroix, Kreutzer & Leboucher, 2006; Lutchmaya et al., 2002; van Goozen, Cohen-Kettenis, Gooren, Frijda & van de Poll, 1994; 1995). For example, women's high pitch and elevated vowel

formants are attributed to the fact that the vocal folds and oral cavity are usually smaller in females than in males (Titze, 1989). In fact, since morphological differences are readily observable between individuals of opposite sexes, the hypothesis that some intersexual variation in behavior can be based on biological factors appears acceptable a priori.

In contrast, it is not widely accepted that within-sex differences on voice, speech and language variables may be biologically determined. Perhaps because anatomical diversity is less remarkable in individuals of a same sex, one might be more inclined to consider intrasexual variation in human communication as sociologically motivated. Yet, several authors have found that many attributes of language performance typically associated with gender differences are related to hormonal factors. For instance, some studies have revealed that speech aspects such as high vowel formants, vowel and fricative durations, and speech rate correlate with levels of salivary testosterone, a hormonal substance that also has significant effects on nonverbal behaviors (Bruckert et al., 2006; Lamoureux & Boucher, 2007). An earlier report by the present authors also showed that men with low testosterone levels tend to produce large variations in  $F_0$  at intonation phrase boundaries, indicating that pitch variability is not only linkable to gender (Lamoureux & Boucher, 2007). These findings suggest that within- and between-sex differences in communicative behavior may involve basic hormonal factors.

This perspective on biological influences is not only applicable to speech properties, but may also extend to language-related cognitive abilities. On this point, it should be noted that hormones have a determining effect on developing verbal skills. For example, a longitudinal study by Lutchmaya et al. (2002) showed that early exposure to high fetal testosterone levels is associated with reduced vocabulary in children, suggesting effects on verbal memory. Other studies indicate that testosterone supplementation during hormonal treatments improves verbal memory but inhibits verbal fluency, which refers to the capacity to retrieve categories of lexical forms in long-term memory (LTM) within a limited time (Wolf & Kirschbaum, 2002). In fact, it has been demonstrated that a single injection of testosterone blocks the practice (or habituation) effect on verbal fluency for elderly men after five days (Wolf, Preut, Hellhammer, Kudielka, Schürmeyer & Kirschbaum, 2000). A report has shown that androgen treatment in female-to-male transsexuals leads to decreasing scores on verbal fluency tasks (van Goozen et al., 1994). In this latter study, a remarkable testimony by one subject related the felt effects on language performance in undergoing testosterone replacement. The patient reported “having problems expressing himself, stumbling over his words, his use of language becoming less broad, more direct and concise”. By contrast, research on androgen deprivation in male-to-female transsexuals showed an improvement of verbal fluency (van Goozen et al., 1995).

It should be noted that the evidence of hormone-related effects on verbal abilities is mostly obtained by verbal fluency tasks; but there are important procedural differences within those tasks. In fact, studies have involved varying types of prompts, which call upon different processes. For instance, some tasks require that the subjects find synonyms of a given word (e.g. “Beautiful”), or words belonging to a semantic category (e.g. “Animals”), whereas other tasks require that the participants retrieve words

beginning with a given letter (e.g. "P"). It can be argued that the first type of task solicits associative processes where sound properties of forms in LTM are irrelevant, while the latter type of task emphasizes the phonological properties of forms in LTM without semantic association. Most studies using these two types of tasks, which we label PVF (phonological association verbal fluency) and SVF (semantic association verbal fluency), have been performed with elderly individuals undergoing hormonal treatments, and few studies have considered the inherent differences in the tasks. In fact, there is reason to believe that performance on PVF and SVF tasks can differ to varying degrees across and within gender. Investigations have shown that women outperform men especially on SVF tasks, whereas PVF scores present greater intrasexual variability (e.g., Gordon & Lee, 1986; Halpern, 2000). As for correlation studies on within-sex differences, one report involving 62 subjects (34 males and 28 females) who performed a single trial of PVF and four SVF trials failed to show a significant relationship between verbal fluency and hormonal factors (e.g., Neave, Menaged & Weightman, 1999). Gordon & Lee (1986) summed the scores of three PVF trials and two SVF trials, and used these single values in their statistical analysis. Although the authors did not find any significant correlation between testosterone levels and verbal fluency scores, the results may have been different if they had considered each individual trial separately.

In short, evidence of between-sex differences in language-related abilities supports the assumption that hormonal factors influence performance on tasks such as verbal fluency. Longitudinal and treatment-based studies suggest that this assumption may extend to within-sex differences in verbal abilities. However, the intrasexual variation has barely been examined, and there is a need for verbal fluency tasks to be refined. Against this background, the purpose of this brief report was to re-examine the possibility of relationships between hormonal factors and performance on different tasks of verbal fluency across individuals of a same sex. Specifically, the present study focuses on the relationship between levels of salivary testosterone in a group of male subjects and both PVF and SVF tasks. Given the study of Gordon & Lee (1986) showing greater within-sex variability for PVF tasks, the expectation was that such a task might be more sensitive to same-sex hormonal effects than a SVF task. Moreover, considering the negative findings of Neave et al. (1999), we used a set of prompts rather than a single trial. Finally, given the relatively small number of subjects, several precautions were taken to ensure accurate measures of salivary testosterone.

## **Methodology**

### *Subjects*

Twenty male native speakers of Québécois French aged between 20 and 27 years (mean 23.0 years) with no history of speech disorders were recruited on the campus of Université de Montréal (Canada). Participants were excluded if they used medication, or if they presented oral abscesses, gingivitis, or diabetes, since these conditions are known to affect measures of salivary testosterone (Granger, Shirtcliff, Booth, Kivlighan & Schwartz, 2004).



### *Saliva sampling*

To assess subjects' levels of testosterone, saliva sampling was used because it is less invasive and stressful than blood sampling. It should be mentioned that saliva sampling presents an additional advantage in that saliva only contains free testosterone (i.e., not bound to sex-hormone binding globulin), which is capable of reaching the brain, and hence affect cognitive functions (Shute, Pellegrino, Hubert & Reynolds, 1983). Salivary testosterone levels also constitute a reliable index of serum testosterone concentrations (Vitteck, L'Hommedieu, Gordon, Rappaport & Southren, 1985).

On the day the samples were collected, participants were asked to arrive at the lab two hours after wake-up and without having eaten or drunk anything else than water since the day before the saliva sampling (Lipson & Ellison, 1989). They were also instructed to abstain from brushing and flossing their teeth, and chewing gum on the morning of the tests (Dabbs, 1991). Such precautions minimize blood leakage in the oral cavity, an agent that can cause abnormal rises in salivary levels of testosterone. Just prior to saliva collection, subjects placed a pH paper under their tongue, in order to ensure that their saliva was not too acid (i.e., no pH > 6.0), which could lead to spurious results (Granger et al., 2004). Participants then washed their hands with antibacterial soap, and rinsed their mouth twice with fresh water to stimulate saliva production. Each subject then filled a sterile 10-ml saliva collection tube, which was frozen at a temperature of  $-20^{\circ}$  C in a chest freezer within two hours following the tests (Dabbs, 1991).

### *Verbal fluency task*

For this task, subjects sat in a sound-treated booth with a microphone (AKG, Model C477) placed 5 cm and at  $45^{\circ}$  from their mouth. They were instructed that they had to find as many words as possible beginning with a given letter within a period of 60 seconds, avoiding proper nouns and inflected forms (e.g., "Loves", "Loved"). The letter "P" was then presented orally, and this PVF task was repeated for the letters "R" and "L". Next, the subjects were asked to find as many words as possible associated to the category "Animals", and this SVF task was repeated for the categories "Fruit" and "Vegetables" (Rahman, Wilson & Abrahams, 2004). Subjects' oral responses were recorded at a sampling rate of 44.1 kHz using a 16-bit sound card (CSL 4400, Kay Elemetrics).

## **Analysis**

### *Testosterone assays*

The 20 saliva samples were sent to an accredited laboratory (*Rocky Mountain Analytical Laboratories*, Alberta, Canada) for analysis. A first extraction was made to concentrate the hormones. Each sample was then duplicated and assayed twice to evaluate reliability. If the agreement coefficient between both assays was poor, a second independent extraction was performed.

### *Subjects' responses*

The number of words retrieved within one minute was counted for each trial. Repeated or non-existent words were excluded.

### *Statistical analyses*

Prior to analysis, the data were screened in order to detect potential univariate outliers. Standardized  $z$  scores were calculated on each variable, but all values were within the expected range (all  $z$  scores  $< 3.29$ ) (Tabachnick & Fidell, 1996). Further screening was performed by plotting testosterone levels and scores obtained on the different trials. To identify possible outliers, Mahalanobis distance of the data points was calculated using linear regression procedures of *SPSS* (version 14.0). A single case on the second PVF trial was significantly distant from the group centroid ( $p < .001$ ) and this case was therefore eliminated.

### **Results**

Measured levels of subjects' salivary testosterone averaged 93.1 pg/ml ( $SD = 24.5$  pg/ml). This compares to values obtained in larger studies involving male individuals of approximately the same age range. For instance, Dabbs & Mallinger (1999) reported an average of 96.3 pg/ml ( $SD = 26.1$ ) for males aged 19.7 years ( $SD = 1.5$ ,  $n = 61$ ).

As for the main results, Pearson correlation analyses showed varying degrees of association between the number of retrieved words and testosterone levels, especially with respect to the different types of verbal fluency tasks. For the PVF tasks, strong and moderate negative correlations appeared for the prompt letter "R" ( $r = -.759$ ,  $p < .001$ ) and "L" ( $r = -.486$ ,  $p = .03$ ), but no significant relationship appeared for the letter "P" ( $r = .063$ ,  $p > .791$ ). These results contrast with the nonsignificant relationships obtained overall on the SVF tasks (for "Animals",  $r = -.058$ ,  $p = .807$ ; for "Fruit",  $r = .174$ ,  $p = .464$ , and for "Vegetables",  $r = -.134$ ,  $p = .572$ ). The data plots for all relationships are presented in Figure 1.

[Insert Figure 1 about here]

Figure 1. *Data plots for the number of words retrieved on PVF and SVF tasks as a function of salivary testosterone levels.*

In viewing Figure 1, the panels reflect the order in which the tasks were performed (from left to right). It is important to note that subjects performed differently depending on the order of the trials. In beginning trials for both PVF and SVF tasks, the subjects retrieved more words than on later occurring trials. Figure 2 illustrates this decrease. Such an effect, known as "regression to the mean", bears on a situation where initial measures may not reflect baseline performance. However, in lumping together the scores on the second and third trials, the correlation remains strong on the PVF task ( $r = -.569$ ,  $p = .009$ ), whereas there is no significant relationship on the SVF task.

[Insert Figure 2 about here]

Figure 2. Average *number of words retrieved for the three PVF and SVF trials.*

## Discussion

The above results, though quite limited, bear implications on the viability of assumptions of hormonal effects on verbal fluency and on the design of tasks that would capture these effects. First, despite the small number of subjects, the present study shows that strong correlations between testosterone levels and verbal fluency can be observed if one distinguishes between tasks that require semantic associations and phonological associations. The finding of a significant across-subject relationship between levels of salivary testosterone and the number of words retrieved during a PVF task suggests that hormonal factors may affect the cognitive processes related to certain verbal abilities. On the two last PVF trials, male individuals with low testosterone levels elicited more items than men with high levels of testosterone, corroborating certain previous studies (Fuchs, 1998; Wolf et Kirschbaum, 2002; Wolf et coll., 2000; van Goozen et coll., 1994; van Goozen et coll., 1995; Christiansen, 1993) while contradicting others (Neave et coll., 1999; Gordon et Lee, 1986). The lack of consistency between these studies may have been caused by differences in procedures. For instance, most of the above authors used two or three trials in their PVF task, whereas Neave et al. (1999), who failed to observe a significant relationship between testosterone levels and PVF, only used one. Interestingly, on the three trials used in the present study, the first one is the only trial that did not show a significant relationship with testosterone levels. These observations suggest that the effects of testosterone on verbal fluency may take some time to activate in certain subjects. However, the correlation coefficients reported here must be interpreted with caution. In fact, the number of words retrieved varies extensively between the trials, while standard deviation values remain constant. An in-depth analysis of potential sources of variation is therefore needed in order to evaluate the extent of the present results. A simple way to achieve this would be to increase the number of trials until subjects' performances reach a certain stability. Despite these methodological considerations, the fact that the present results are precedented in the literature strongly points to the existence of links between testosterone and particular types of lexical associations.

On the question of how testosterone affects verbal fluency, several hypotheses may be proposed. First, it could be argued that the magnitude of the hormonal influence on performance depends on the latency between the time a target item is stored in memory, and the time it is retrieved through lexical access. Following this hypothesis, individuals with high levels of testosterone should access items stored in short-term memory more quickly and easily than items stored in long-term memory. Given that verbal fluency consists in accessing to lexical units stored in semantic (i.e., long-term) memory, this could explain why testosterone is an inhibitor in this type of task, while it improves immediate verbal recall (Wolf et Kirschbaum, 2002; Cherrier, Asthana, Plymate, Baker, Matsumoto, Peskind, Raskind, Brodtkin, Bremner, Petrova, LaTendresse & Craft, 2001; Moffat, Zonderman, Metter, Blackman, Harman & Resnick, 2006). It could also be that

the effects of testosterone on performance are sensitive to the scope of the task itself. In fact, testosterone seems to enhance performance in a task that requires one to focus on a specific target. However, this advantage disappears when the task involves drawing links between target items. In the case of a verbal fluency task, the subject has to retrieve tokens sharing a common characteristic (e.g., "Being a fruit"). High testosterone levels might cause an individual to focus on a target to such a point that it becomes difficult for him to direct his attention towards other elements of the same category. These focusing or anti-associative effects of testosterone have not only been observed in verbal fluency, but also in other linguistic and social behaviors. For instance, Knickmeyer et al. (2005) found that children who had been exposed to high concentrations of fetal testosterone developed restricted interests and social relationships. Connor & Pourcel (2005) showed that in describing a picture, individuals with high levels of testosterone spent most of the time discussing single isolated topics. The authors reported that their high-testosterone subjects found it "very difficult to pull themselves away from single aspects in the pictures". On the other hand, low testosterone levels seem to have diverting effects. In Connor & Pourcel's study (2005), low-testosterone subjects allocated short periods of time on various elements of the picture and were easily distracted by random details. As for verbal fluency, low levels of testosterone may prevent the subject from getting stuck on a target, and enable him to draw links between elements. This ability to establish connections is also reflected in social interaction among children who have been exposed to low testosterone levels prenatally (Knickmeyer et al, 2005). Furthermore, a study by Pennebaker, Groom, Loew & Dabbs (2004) revealed a negative association between testosterone levels and the use of words relating to social connections in individuals receiving testosterone injections. In fact, the investigators found that subjects used less communication verbs (e.g., "Hear", "Say", "Share") and pronouns referring to others (e.g., "We", "She", "They") during the hormone treatments. These findings suggest that the anti-associative effects of testosterone may extend to social aspects of language behavior.

Dabbs & Dabbs (2000) argued that testosterone promotes "simple thought and action", that is, paying less attention to complex objects and relationships. The authors suggest that these effects reflect an evolutionary trade-off, where high-testosterone individuals benefit from an intensity of focus, while low-testosterone individuals benefit from associative abilities (Dabbs & Dabbs, 2000). This hypothesis could explain the correlations observed between fetal testosterone levels and vocabulary size (Lutchmaya et al., 2002). Whether individuals with high levels of testosterone really possess a less extensive vocabulary than low-testosterone individuals, or just use it in a more restrictive way because they have more difficulty accessing it, is a question that will need to be addressed in future research.

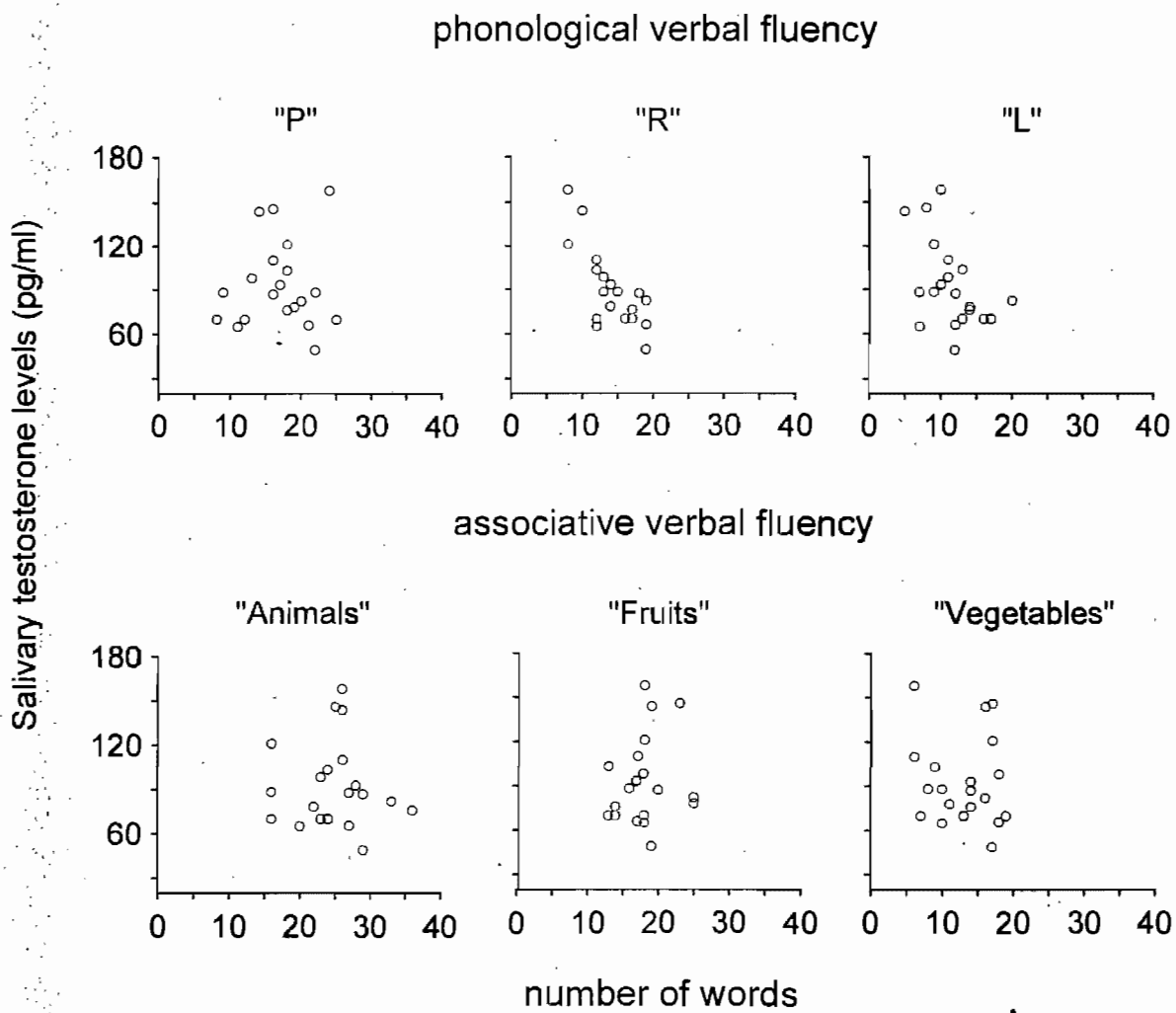
## References

- Bruckert, L., Liénard, J.-S., Lacroix, A., Kreutzer, M., & Leboucher, G. (2006). Women use voice parameters to assess men's characteristics. *Proceedings of the Royal Society B* 273: 83-89.

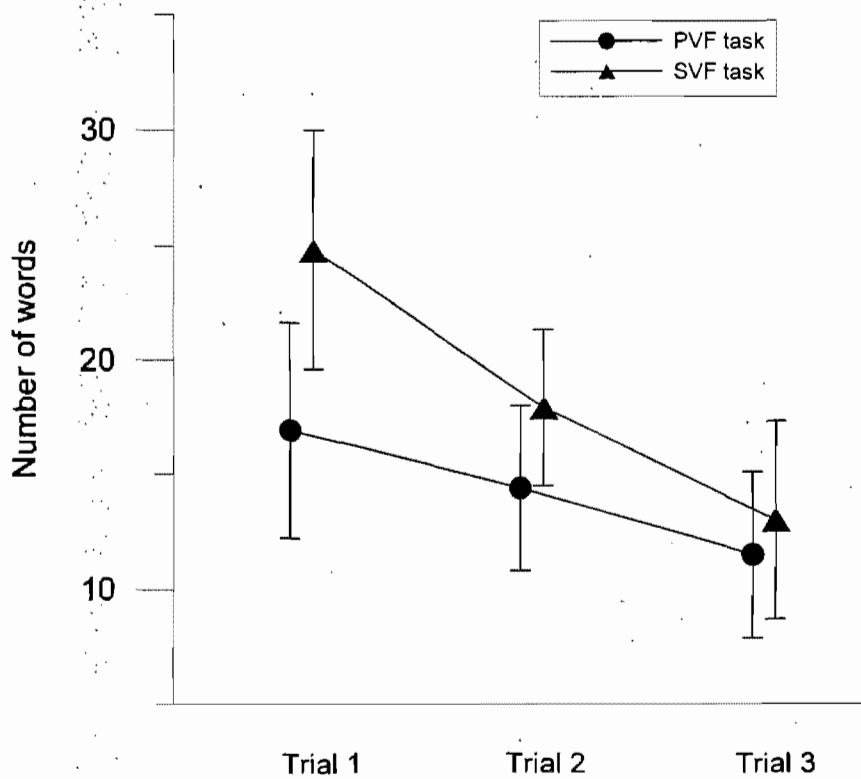
- Cherrier, M. M., Asthana, S., Plymate, S., Baker, L., Matsumoto, A. M., Peskind, E., et al. (2001). Testosterone supplementation improves spatial and verbal memory in healthy older men. *Neurology* 57: 80-88.
- Christiansen, K. (1993). Sex hormone-related variations of cognitive performance in !Kung San hunter-gatherers of Namibia. *Neuropsychobiology* 27: 97-107.
- Coleman, R. O. (1976). A comparison of the contributions of two voice quality characteristics to the perception of maleness and femaleness in the voice. *Journal of Speech and Hearing Research* 19: 168-180.
- Connor, S. and S. Pourcel (2005). An investigation into hormonal impacts on the social use of language. *Durham and Newcastle Working Papers in Linguistics* 11: 13-25.
- Dabbs, J. M. and M. G. Dabbs (2000). *Heroes, Rogues, and Lovers: Testosterone and Behavior*. New York: McGraw-Hill.
- Dabbs, J. M., & Mallinger, A. (1999). High testosterone levels predict low voice pitch among men. *Personality and Individual Differences* 27: 801-804.
- Dabbs, J. M. (1991). Salivary testosterone measurements: Collecting, storing, and mailing saliva samples. *Physiology & Behavior* 49: 815-817.
- Fuchs, C. (1998). The effect of androgen excess on cognitive functioning in women. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering* 58: 3922.
- Gordon, H. W., & Lee, P. A. (1986). A relationship between gonadotropins and visuospatial function. *Neuropsychologia* 24: 563-576.
- Granger, D. A., Shirtcliff, E. A., Booth, A., Kivlighan, K. T., & Schwartz, E. B. (2004). The "trouble" with salivary testosterone. *Psychoneuroendocrinology* 29: 1229-1240.
- Halpern, D. F. (2000). *Sex Differences in Cognitive Abilities*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hillenbrand, J., Getty, L. A., Clark, M. J., & Wheeler, K. (1995). Acoustic characteristics of American English vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 97: 3099-3111.
- Kimura, D. (1999). *Sex and Cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Knickmeyer, R., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., & Taylor, K. (2005). Foetal testosterone, social relationships, and restricted interests in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 46: 198-210.
- Lass, N. J., Hughes, K. R., Bowyer, M. D., Waters, L. T., & Bourne, V. T. (1976). Speaker sex identification from voiced, whispered, and filtered isolated vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 59: 675-678.
- Lipson, S. F., & Ellison, P. T. (1989). Development of protocols for the application of salivary steroid analyses to field conditions. *American Journal of Human Biology* 1: 249-255.
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S., & Raggatt, P. (2002). Foetal testosterone and vocabulary size in 18- and 24-month-old infants. *Infant Behavior and Development* 24: 418-424.
- Meuser, W., & Nieschlag, E. (1977). Sexualhormone und Stimmlage des Mannes. *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 8: 261-264.
- Moffat, S. D., Zonderman, A. B., Metter, E. J., Blackman, M. R., Harman, S. M., & Resnick, S. M. (2006). Longitudinal assessment of serum free testosterone

- concentration predicts memory performance and cognitive status in elderly men. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 87: 5001-5007.
- Neave, N., Menaged, M., & Weightman, D. R. (1999). Sex differences in cognition: The role of testosterone and sexual orientation. *Brain and Cognition* 41: 245-262.
- O'Connor, D. B., Archer, J., Hair, W. M., & Wu, F. C. W. (2001). Activational effects of testosterone on cognitive function in men. *Neuropsychologia* 39: 1385-1394.
- Pennebaker, J. W., Groom, C. J., Loew, D., & Dabbs, J. M. (2004). Testosterone as a social inhibitor: Two case studies of the effect of testosterone treatment on language. *Journal of Abnormal Psychology* 113: 172-175.
- Perry, T. L., Ohde, R. N., & Ashmead, D. H. (2001). The acoustic bases for gender identification from children's voices. *Journal of the Acoustical Society of America* 109: 2988-2998.
- Rahman, Q., & Wilson, G. D. (2003). Sexual orientation and the 2nd to 4th finger length ratio: Evidence for organising effects of sex hormones or developmental instability? *Psychoneuroendocrinology* 28: 288-303.
- Rahman, Q., Wilson, G. D., & Abrahams, S. (2004). Biosocial factors, sexual orientation and neurocognitive functioning. *Psychoneuroendocrinology* 29: 867-881.
- Shute, V. J., Pellegrino, J. W., Hubert, L., & Reynolds, R. W. (1983). The relationship between androgen levels and human spatial abilities. *Bulletin of the Psychonomic Society* 21: 465-468.
- Tabachnik, B. G., & Fidell, L. S. (1996). *Using Multivariate Statistics*. New York: Harper Collins.
- Titze, I. R. (1989). Physiologic and acoustic differences between male and female voices. *Journal of the Acoustical Society of America* 85: 1699-1707.
- van Goozen, S. H. M., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J. G., Frijda, N. H., & van de Poll, N. E. (1994). Activating effects of androgens on cognitive performance: Causal evidence in a group of female-to-male transsexuals. *Neuropsychologia* 32: 1153-1157.
- van Goozen, S. H. M., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J. G., Frijda, N. H., & van de Poll, N. E. (1995). Gender differences in behaviour: Activating effects of cross-sex hormones. *Psychoneuroendocrinology* 20: 343-363.
- Vitteck, J., L'Hommedieu, D. G., Gordon, G. G., Rappaport, S. C., & Southren, A. L. (1985). Direct radioimmunoassay (RIA) of salivary testosterone: Correlations with free and total serum testosterone. *Life Sciences* 37: 711-716.
- Wolf, O. T., & Kirschbaum, C. (2002). Endogenous estradiol and testosterone levels are associated with cognitive performance in older women and men. *Hormones and Behavior* 41: 259-266.
- Wolf, O. T., Preut, R., Hellhammer, D. H., Kudielka, B. M., Schürmeyer, T. H., & Kirschbaum, C. (2000). Testosterone and cognition in elderly men: A single testosterone injection blocks the practice effect in verbal fluency, but has no effect on spatial or verbal memory. *Biological Psychiatry* 47: 650-654.

[Figure 1]



[Figure 2]





## 8. Résultats

Dans le cadre du présent travail, l'application d'analyses statistiques suppose certaines hypothèses portant sur les tests paramétriques. Un examen préliminaire des distributions de données pour chaque variable dépendante et indépendante n'a révélé aucun cas extrême unidimensionnel (*univariate outlier*) : tous les scores  $z$  se trouvaient à l'intérieur des valeurs attendues ( $< 2,39$ ; Tabachnick et Fidell, 1996). Par contre, le calcul de la distance de Mahalanobis a confirmé la présence d'un cas extrême multidimensionnel (*multivariate outlier*) significativement éloigné des autres valeurs ( $p < 0,001$ ), qui a été éliminé. De plus, l'inspection des données a révélé que la distribution des valeurs de taux de testostérone, de formants vocaliques et de FAM des fricatives était désaxée vers la droite (*positively skewed*). Par conséquent, on a appliqué une transformation logarithmique sur ces variables préalablement aux tests de corrélations.

En ce qui a trait aux mesures hormonales, le taux de testostérone moyen des sujets de la présente étude est de 93,1 pg/mL ( $\pm 24,5$ ). Ces valeurs sont comparables aux moyennes obtenues dans d'autres recherches impliquant des hommes d'âge similaire. Ainsi, Dabbs et Mallinger (1999) ont rapporté une moyenne de 96,3 pg/mL ( $\pm 26,1$ ).

Pour ce qui est des principaux résultats, le Tableau 4 résume l'ensemble des corrélations obtenues, incluant celles qui font l'objet des trois articles de la section 7. Les associations significatives sont en caractères gras. Il est à noter que la multiplication de tests de corrélations peut créer une légère inflation dans les erreurs de Type II. Toutefois, on n'a pas appliqué de correctif étant donné que le but du présent travail était de comparer des données de façon relative (Olejnik et coll., 1997).

En examinant les statistiques du Tableau 4, on remarque que, dans l'ensemble, il y a très peu de corrélations systématiques entre les mesures morphométriques et les différentes variables de performance verbale. Par contre, il y a des corrélations négatives très systématiques entre le taux de testostérone et les variables impliquant la durée, incluant le débit. Ces corrélations significatives s'étendent également aux valeurs de F0 et aux performances d'accès lexical, bien que ces dernières présentent une certaine

Tableau 4. Coefficients de corrélation ( $r$ ) et taux de probabilité d'erreur ( $p$ ; entre parenthèses) entre les variables biologiques et les variables langagières. Les corrélations significatives ( $p < 0,05$ ) sont indiquées en caractères gras (pour résoudre les abréviations des variables, voir la liste au début du présent travail).

Variables langagières	Variables biologiques							
	Taux T	Taille	Poids	IMC	Long. jambes	Long. bras	I/A gauche	I/A droit
<b>F1 [a]</b> $n = 40$	0,006 (0,972)	-0,304 (0,056)	-0,097 (0,551)	-0,012 (0,941)	-0,286 (0,074)	-0,252 (0,117)	0,059 (0,718)	0,108 (0,506)
<b>F1 [a]</b> $n = 40$	-0,030 (0,852)	-0,179 (0,268)	-0,195 (0,229)	-0,164 (0,313)	-0,209 (0,197)	-0,141 (0,386)	0,111 (0,496)	0,039 (0,809)
<b>F1 [i]</b> $n = 40$	-0,126 (0,437)	-0,030 (0,852)	0,030 (0,852)	0,052 (0,750)	-0,028 (0,864)	-0,020 (0,901)	-0,223 (0,167)	-0,084 (0,605)
<b>F1 [u]</b> $n = 40$	-0,127 (0,435)	0,027 (0,870)	-0,021 (0,896)	-0,027 (0,868)	-0,030 (0,854)	-0,035 (0,832)	-0,263 (0,101)	-0,079 (0,630)
<b>F1 [y]</b> $n = 40$	-0,209 (0,195)	-0,023 (0,887)	0,038 (0,814)	0,061 (0,707)	-0,003 (0,987)	-0,039 (0,813)	-0,249 (0,122)	-0,111 (0,496)
<b>M F1 voy.</b> $n = 40$	-0,115 (0,479)	-0,153 (0,346)	-0,081 (0,617)	-0,037 (0,819)	-0,168 (0,300)	-0,146 (0,369)	-0,128 (0,430)	-0,021 (0,897)
<b>F2 [a]</b> $n = 40$	-0,085 (0,603)	-0,223 (0,166)	0,029 (0,859)	0,103 (0,528)	-0,104 (0,523)	-0,047 (0,773)	0,108 (0,508)	0,127 (0,434)
<b>F2 [a]</b> $n = 40$	0,050 (0,760)	-0,188 (0,245)	-0,188 (0,245)	-0,149 (0,360)	-0,137 (0,401)	-0,134 (0,411)	0,300 (0,060)	0,045 (0,783)
<b>F2 [i]</b> $n = 40$	0,020 (0,902)	<b>-0,324</b> (0,041)	0,110 (0,499)	0,215 (0,183)	-0,204 (0,206)	-0,186 (0,250)	0,041 (0,801)	-0,064 (0,694)
<b>F2 [u]</b> $n = 40$	-0,081 (0,618)	-0,017 (0,918)	-0,171 (0,293)	-0,188 (0,246)	-0,075 (0,646)	0,061 (0,706)	0,024 (0,882)	-0,259 (0,107)
<b>F2 [y]</b> $n = 40$	-0,014 (0,931)	<b>-0,452</b> (0,003)	-0,079 (0,629)	0,043 (0,793)	<b>-0,385</b> (0,014)	<b>-0,329</b> (0,038)	-0,038 (0,816)	-0,086 (0,599)
<b>M F2 voy.</b> $n = 40$	-0,029 (0,859)	<b>-0,396</b> (0,011)	-0,041 (0,801)	0,070 (0,667)	-0,289 (0,070)	-0,218 (0,177)	0,097 (0,553)	-0,068 (0,677)
<b>Dispers. [a]</b> $n = 40$	-0,103 (0,526)	-0,030 (0,856)	0,089 (0,587)	0,107 (0,509)	0,078 (0,634)	0,110 (0,501)	0,065 (0,689)	0,065 (0,689)
<b>Dispers. [a]</b> $n = 40$	0,072 (0,657)	-0,051 (0,754)	-0,027 (0,867)	-0,011 (0,946)	0,023 (0,887)	-0,015 (0,926)	0,185 (0,252)	0,023 (0,887)
<b>Dispers. [i]</b> $n = 40$	0,048 (0,767)	<b>-0,313</b> (0,049)	0,097 (0,552)	0,195 (0,227)	-0,194 (0,230)	-0,179 (0,269)	0,101 (0,537)	-0,035 (0,832)

<b>Dispers. [u]</b> <i>n</i> = 40	-0,014 (0,932)	-0,026 (0,875)	-0,116 (0,476)	-0,126 (0,438)	-0,035 (0,829)	0,078 (0,630)	0,191 (0,238)	-0,149 (0,358)
<b>Dispers. [y]</b> <i>n</i> = 40	0,056 (0,732)	<b>-0,437</b> (0,005)	-0,098 (0,549)	0,014 (0,933)	<b>-0,377</b> (0,017)	-0,308 (0,053)	0,055 (0,736)	-0,038 (0,816)
<b>M Disp. voy.</b> <i>n</i> = 40	0,020 (0,900)	<b>-0,322</b> (0,043)	-0,014 (0,932)	0,075 (0,645)	-0,206 (0,201)	-0,146 (0,367)	0,165 (0,310)	-0,049 (0,762)
<b>FAM [s]</b> <i>n</i> = 40	-0,008 (0,963)	-0,114 (0,485)	-0,300 (0,060)	<b>-0,313</b> (0,049)	-0,211 (0,192)	-0,102 (0,530)	0,076 (0,641)	0,058 (0,723)
<b>FAM [j]</b> <i>n</i> = 40	0,132 (0,418)	-0,259 (0,106)	-0,285 (0,075)	-0,241 (0,134)	-0,287 (0,073)	<b>-0,369</b> (0,019)	0,206 (0,202)	-0,020 (0,901)
<b>M FAM fric.</b> <i>n</i> = 40	0,040 (0,806)	-0,188 (0,244)	<b>-0,343</b> (0,030)	<b>-0,337</b> (0,034)	-0,275 (0,086)	-0,217 (0,178)	0,135 (0,406)	0,045 (0,781)
<b>Durée [a]</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,489</b> (0,001)	-0,286 (0,074)	<b>-0,332</b> (0,036)	-0,297 (0,063)	<b>-0,330</b> (0,038)	<b>-0,327</b> (0,039)	-0,111 (0,494)	-0,245 (0,127)
<b>Durée [a]</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,410</b> (0,009)	<b>-0,392</b> (0,012)	<b>-0,407</b> (0,009)	<b>-0,349</b> (0,028)	<b>-0,453</b> (0,003)	<b>-0,423</b> (0,007)	-0,100 (0,540)	-0,203 (0,209)
<b>Durée [i]</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,453</b> (0,003)	-0,125 (0,441)	-0,185 (0,252)	-0,174 (0,282)	-0,146 (0,368)	-0,176 (0,278)	0,008 (0,960)	-0,093 (0,566)
<b>Durée [u]</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,428</b> (0,006)	-0,298 (0,061)	-0,292 (0,068)	-0,241 (0,134)	-0,309 (0,052)	<b>-0,360</b> (0,023)	-0,017 (0,915)	-0,139 (0,393)
<b>Durée [y]</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,526</b> (0,000)	-0,160 (0,323)	-0,250 (0,120)	-0,235 (0,144)	-0,183 (0,257)	-0,247 (0,125)	-0,041 (0,801)	-0,160 (0,324)
<b>M Dur. voy.</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,390</b> (0,013)	-0,220 (0,172)	-0,237 (0,140)	-0,202 (0,211)	-0,214 (0,184)	-0,215 (0,182)	-0,060 (0,715)	-0,116 (0,476)
<b>Durée [s]</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,370</b> (0,019)	-0,181 (0,264)	-0,203 (0,208)	-0,172 (0,289)	-0,109 (0,505)	-0,127 (0,436)	-0,068 (0,677)	-0,179 (0,270)
<b>Durée [j]</b> <i>n</i> = 40	-0,305 (0,055)	-0,071 (0,664)	-0,132 (0,417)	-0,127 (0,436)	-0,017 (0,919)	-0,038 (0,817)	0,028 (0,864)	-0,091 (0,575)
<b>M Dur. fric.</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,347</b> (0,028)	-0,125 (0,443)	-0,170 (0,295)	-0,152 (0,349)	-0,060 (0,711)	-0,080 (0,622)	-0,018 (0,910)	-0,139 (0,393)
<b>VOT [p]</b> <i>n</i> = 40	-0,075 (0,644)	-0,087 (0,595)	-0,018 (0,915)	0,009 (0,954)	0,129 (0,429)	0,080 (0,624)	0,235 (0,144)	-0,020 (0,904)
<b>VOT [t]</b> <i>n</i> = 40	-0,221 (0,171)	0,029 (0,858)	-0,129 (0,426)	-0,164 (0,312)	0,152 (0,349)	0,151 (0,352)	-0,033 (0,842)	-0,230 (0,153)
<b>VOT [k]</b> <i>n</i> = 40	-0,122 (0,454)	-0,028 (0,861)	-0,025 (0,878)	-0,026 (0,872)	0,078 (0,632)	0,053 (0,746)	0,028 (0,861)	-0,161 (0,322)
<b>M VOT occl.</b> <i>n</i> = 40	-0,146 (0,370)	-0,023 (0,888)	-0,050 (0,760)	-0,054 (0,740)	0,139 (0,392)	0,108 (0,505)	0,091 (0,576)	-0,145 (0,371)
<b>M F0 GI</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,393</b> (0,012)	-0,172 (0,288)	-0,046 (0,778)	0,003 (0,987)	-0,189 (0,242)	-0,164 (0,311)	-0,174 (0,282)	-0,113 (0,487)

<b>Min. F0 GI</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,360</b> (0,023)	-0,156 (0,336)	-0,030 (0,856)	0,015 (0,927)	-0,147 (0,367)	-0,122 (0,455)	-0,164 (0,312)	-0,106 (0,514)
<b>Max. F0 GI</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,432</b> (0,005)	-0,165 (0,308)	-0,079 (0,626)	-0,037 (0,821)	-0,204 (0,208)	-0,193 (0,233)	-0,220 (0,172)	-0,211 (0,191)
<b>Étend. F0 GI</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,331</b> (0,037)	-0,084 (0,607)	-0,146 (0,369)	-0,135 (0,407)	-0,209 (0,195)	-0,239 (0,137)	-0,215 (0,184)	<b>-0,324</b> (0,041)
<b>Var. F0 GI</b> <i>n</i> = 40	-0,168 (0,302)	-0,027 (0,870)	-0,205 (0,204)	-0,219 (0,175)	-0,151 (0,354)	-0,197 (0,224)	-0,292 (0,067)	<b>-0,368</b> (0,019)
<b>M F0</b> <i>n</i> = 40	-0,300 (0,060)	-0,166 (0,306)	-0,158 (0,331)	-0,124 (0,444)	-0,185 (0,254)	-0,192 (0,236)	-0,300 (0,060)	-0,149 (0,358)
<b>Débit</b> <i>n</i> = 40	<b>-0,377</b> (0,017)	0,176 (0,277)	0,107 (0,512)	0,066 (0,684)	0,200 (0,215)	0,267 (0,096)	0,027 (0,869)	0,158 (0,330)
<b>Essai 1 AP</b> <i>n</i> = 20	0,063 (0,791)	-0,176 (0,459)	-0,166 (0,485)	-0,131 (0,581)	-0,367 (0,112)	-0,237 (0,314)	-0,022 (0,927)	-0,191 (0,419)
<b>Essai 2 AP</b> <i>n</i> = 20	<b>-0,759</b> (0,001)	0,106 (0,656)	-0,314 (0,178)	-0,390 (0,089)	-0,166 (0,485)	0,040 (0,868)	-0,217 (0,357)	-0,344 (0,138)
<b>Essai 3 AP</b> <i>n</i> = 20	<b>-0,486</b> (0,030)	-0,001 (0,998)	-0,049 (0,839)	-0,069 (0,773)	-0,127 (0,592)	-0,014 (0,953)	<b>-0,588</b> (0,006)	<b>-0,577</b> (0,008)
<b>M Essais AP</b> <i>n</i> = 20	-0,376 (0,102)	-0,052 (0,827)	-0,244 (0,300)	-0,266 (0,258)	-0,325 (0,162)	-0,119 (0,616)	-0,351 (0,129)	<b>-0,493</b> (0,027)
<b>Essai 1 AS</b> <i>n</i> = 20	-0,058 (0,807)	-0,011 (0,964)	<b>-0,492</b> (0,028)	<b>-0,544</b> (0,013)	-0,134 (0,573)	-0,097 (0,684)	-0,095 (0,689)	0,009 (0,971)
<b>Essai 2 AS</b> <i>n</i> = 20	0,174 (0,464)	-0,372 (0,106)	-0,281 (0,229)	-0,225 (0,341)	-0,274 (0,242)	-0,085 (0,721)	0,138 (0,563)	-0,003 (0,989)
<b>Essai 3 AS</b> <i>n</i> = 20	-0,134 (0,572)	-0,234 (0,320)	-0,335 (0,149)	-0,302 (0,196)	-0,381 (0,097)	-0,287 (0,219)	0,284 (0,225)	0,128 (0,591)
<b>M Essais AS</b> <i>n</i> = 20	-0,033 (0,890)	-0,266 (0,257)	-0,568 (0,009)	-0,561 (0,010)	-0,374 (0,105)	-0,232 (0,325)	0,136 (0,568)	0,067 (0,780)

variabilité d'un essai à l'autre. Par ailleurs, il est à noter que la magnitude des corrélations observées concorde avec des données publiées. En particulier, dans une étude impliquant une soixantaine de sujets, Dabbs et Mallinger (1999) ont rapporté un coefficient de -0,26 pour une corrélation entre le taux de testostérone et la F0 moyenne, qui est une des variables les plus souvent associées aux facteurs hormonaux.

## 9. Discussion

Le but de la présente étude était d'isoler les effets des facteurs biologiques hormonaux sur la performance langagière. Afin d'évaluer le poids de ces facteurs, on a utilisé des mesures morphométriques, qui reflètent le degré d'exposition aux stéroïdes sexuels durant le stade prénatal, et le taux de testostérone en présence chez les sujets lors des tests. Par rapport aux études recensées, cette recherche est la première à avoir exploré un ensemble de variables reliées à la communication orale, incluant des aspects de la parole, de la voix et des habiletés verbales. En procédant de cette façon, on a pu dégager la *portée relative* des effets hormonaux sur chacune des variables langagières analysées. Ainsi, un premier examen des données du Tableau 4 permet de constater que globalement, les variables morphométriques ne corrèlent qu'occasionnellement avec des aspects de la performance verbale. Par contraste, la variable de taux de testostérone a révélé des corrélations systématiques, dont certaines sont peu documentées et d'autres sont bien connues. Ces corrélations systématiques portent sur des aspects de la parole, de la voix, mais surtout sur certains aspects généraux du *timing*.

En ce qui concerne les habiletés verbales, on a noté des effets hormonaux sur l'accès lexical. Plus précisément, les participants dont le taux de testostérone était bas ont trouvé plus de mots que les autres lors des deux derniers essais de la tâche AP, confirmant certaines études qui ont démontré que les hormones sexuelles pouvaient modifier les fonctions cognitives reliées aux habiletés verbales chez différents groupes d'individus (Fuchs, 1998; Wolf et Kirschbaum, 2002; Wolf et coll., 2000; van Goozen et coll., 1994; van Goozen et coll., 1995; Christiansen, 1993), mais en infirmant d'autres (Neave et coll., 1999; Gordon et Lee, 1986). Ce manque de cohésion dans la littérature peut s'expliquer par le fait que les procédures adoptées par les auteurs divergent sur plusieurs points. On remarque entre autres que les tâches utilisées requièrent différents types d'associations lexicales, et qu'elles ne comportent pas le même ordre de présentation ni le même nombre d'essais. De tels facteurs peuvent avoir des effets confondants sur les résultats et devront par conséquent être contrôlés dans les études ultérieures.

Parmi les variables langagières les plus souvent associées à des facteurs d'ordre biologique se trouve la F0 moyenne de la voix. Conformément à ce qu'on avait prédit, les analyses ont révélé une corrélation significative entre le taux de testostérone et la F0 moyenne en parole. Cette corrélation semble logique si on considère les effets connus des facteurs hormonaux sur la F0, et corrobore des études antérieures (Dabbs et Mallinger, 1999; Meuser et Nieschlag, 1977). Les résultats démontrent également des liens entre les taux hormonaux et les variations d'intonation, particulièrement en fin d'énoncé, ce qui n'a pas été documenté dans la littérature. Toutefois, la nature exacte de tels liens est encore difficile à déterminer. L'hypothèse selon laquelle les hormones sexuelles auraient des effets activateurs non seulement sur la hauteur de la F0, mais aussi sur le contrôle des variations de la voix paraît contre-intuitive si on considère la fréquence à laquelle fluctue l'intonation. Il semble en revanche plus plausible que les facteurs hormonaux amènent les individus à privilégier certains patterns intonatifs. Cette explication est en accord avec Dabbs et Mallinger (1999), qui ont suggéré que le taux de testostérone pouvait influencer l'utilisation des paramètres vocaux reliés à la F0.

Si les facteurs hormonaux ont des liens prévisibles avec la hauteur de la F0, leur rapport avec des aspects statiques de la parole semble plus éloigné. Dans ce sens, on n'a observé aucune corrélation entre le taux de testostérone salivaire et les composantes spectrales (sommets de résonance) des voyelles et des fricatives produites par les sujets, contrairement à Bruckert et coll. (2006). Toutefois, les analyses indiquent que ces composantes corrélaient sporadiquement avec quelques-unes des variables morphométriques, confirmant dans une certaine mesure les résultats de González (2004). Sans réfuter l'existence de liens entre les données morphométriques et la performance langagière, le présent travail suggère que de tels liens ne sont pas systématiques et peuvent exiger de grands échantillons de sujets pour être décelés.

En revanche, les résultats révèlent que le taux de testostérone corréle systématiquement avec les variables temporelles de la performance langagière, comme la durée, le débit et des processus cognitifs impliqués dans l'accès lexical. Plus précisément, les sujets ayant de fortes concentrations de testostérone ont eu tendance à produire des sons plus courts, à parler à un débit plus rapide, mais à être plus lents que

les autres participants durant certaines tâches d'associations lexicales phonologiques. Ces résultats suggèrent fortement que les facteurs hormonaux ont un impact sur le *timing* de la performance verbale. Par ailleurs, il est intéressant de noter que parmi les variables de la parole associées au genre, plusieurs (durée des voyelles, durée des fricatives, *VOT* des occlusives) sont d'ordre temporel. Dans ce sens, la présente étude remet en doute les interprétations sociolinguistiques qui présupposent les origines conventionnelles ou apprises de ces variables.

Il faut noter que la découverte de relations systématiques entre le taux de testostérone et les variables temporelles a de nombreuses implications, qui touchent au moins quatre aspects du comportement langagier : le contrôle moteur, les processus cognitifs, les moyens discursifs et les interactions sociales. Du point de vue du **contrôle moteur**, les résultats ci-dessus indiquent une corrélation positive entre le taux de testostérone et le débit, ce qui appuie l'hypothèse générale selon laquelle les stéroïdes sexuels ont des effets accélérateurs sur l'activité motrice. À cet égard, Hampson (1990) a constaté que dans des tâches portant sur la vitesse des mouvements, les femmes performaient plus rapidement durant la phase folliculaire tardive du cycle menstruel, alors que les niveaux de stéroïdes (dans ce cas, d'œstrogènes) atteignent des sommets. Suivant ces observations, on peut s'attendre à ce que les facteurs hormonaux n'affectent pas seulement la temporalité de la parole, mais également la coordination des mouvements articulatoires. Cette hypothèse est appuyée par les propos du patient de l'étude de van Goozen (1994). On se souvient que ce patient, qui avait reçu des doses massives de testostérone, avait affirmé buter sur des mots plus souvent et éprouver des difficultés à s'exprimer depuis ses traitements hormonaux. Il est donc concevable que les individus ayant des taux hormonaux élevés soient plus susceptibles de manifester des troubles d'élocution et de fluidité verbale. De plus, les effets accélérateurs des hormones sur le débit peuvent avoir des conséquences sur la tension musculaire et l'amplitude de déplacement des articulateurs, variables qui affectent la F0 et les formants.

Cependant, les liens entre les facteurs hormonaux et les variables temporelles de la performance langagière n'affectent pas seulement la parole et la voix, mais touchent certains **processus cognitifs** impliqués dans la communication. Ainsi, des études ont

démontré qu'un taux élevé de testostérone était associé à des temps de réponse plus courts (Müller, 1994). Or, on sait que les temps de réaction affectent l'accès lexical, mais peuvent aussi être liés aux mécanismes d'attention. Sur ce point, Pennebaker et coll. (2004) avancent que la testostérone a des effets « focalisateurs » sur l'attention, et que ces effets permettent de prendre des décisions rapides sans être distrait par des agents extérieurs (sur la notion de « focus d'attention », voir Cowan, 2005). Ces observations ne sont pas sans rappeler le témoignage du sujet de van Goozen (1994), qui avait déclaré penser moins et agir plus rapidement après le début des traitements hormonaux. Par ailleurs, une étude a démontré que les hommes dont le taux de testostérone est élevé pouvaient rester concentrés plus longtemps durant une tâche (Andrew et Rogers, 1972). L'influence polarisatrice de la testostérone a également été constatée par Connor et Pourcel (1995) lors d'une tâche de discours libre sollicité où les sujets devaient décrire une image en donnant autant de détails qu'ils le jugeaient pertinent :

*In our study, high-testosterone subjects found it very difficult to pull themselves away from single aspects of the pictures. [...] On the other hand, low-testosterone subjects did not display such a highly focused approach, and instead seemed to get distracted by random details of various elements in the pictures. These subjects described the pictures bit by bit in no organised order, even returning to previously mentioned elements for further elaboration. (Connor et Pourcel, 1995, p. 22)*

De manière concrète, les effets hormonaux sur la rapidité des décisions et le focus d'attention peuvent se traduire par de l'*impulsivité* et de l'*entêtement*. En particulier, il est probable que par rapport aux autres, les individus qui présentent un niveau élevé de testostérone soient plus enclins à réagir à des situations de façon précipitée et à persévérer longtemps dans l'atteinte d'un objectif. Par ailleurs, il faut souligner que les effets hormonaux sur les mécanismes d'attention et les processus cognitifs ont des retombées immédiates sur le domaine de l'enseignement et l'acquisition de connaissances, si on considère que les troubles d'apprentissage sont plus fréquents chez les individus dont le taux de testostérone est élevé (Kirkpatrick et coll., 1993).



Or, il semblerait que les personnes qui sont favorisées par une grande rapidité de réaction et une forte intensité d'attention soient en revanche désavantagées par de pauvres habiletés associatives (Dabbs et Dabbs, 2000). Ainsi, bien que la testostérone semble avoir des effets accélérateurs sur les processus cognitifs qui impliquent que l'attention soit canalisée sur un élément particulier, elle a des effets modérateurs sur ceux qui requièrent la création de liens entre divers éléments. Dans ce sens, les résultats du présent travail suggèrent que la testostérone inhibe certaines performances d'accès lexical, qui reposent sur la capacité à retrouver *en une période de temps limité* des unités partageant une caractéristique commune stockées dans la mémoire à long terme. Suivant cette logique, il se peut que les individus dont le taux de testostérone est élevé éprouvent plus de difficulté que les autres à accéder *rapidement* à du vocabulaire et utilisent par conséquent un lexique plus restreint en situation de communication avec autrui. Une telle hypothèse pourrait expliquer les corrélations significatives entre l'hormone mâle et l'étendue du vocabulaire obtenues par Lutchmaya et coll. (2002a) de même que le passage où le patient de van Goozen (1994) rapporte que sa façon d'utiliser les mots a changé et que son langage est devenu moins varié au cours de la thérapie hormonale. Ces résultats convergent vers la possibilité que les facteurs hormonaux aient des répercussions sur des **moyens discursifs** qui peuvent être mesurés, tels que la diversité lexicale.

En considérant cette dernière possibilité et les présents résultats portant sur les tâches d'accès lexical, il faut souligner les implications des effets hormonaux sur la communication. Des auteurs ont découvert que les taux d'hormones pouvaient influencer l'emploi de certaines *classes* de mots. Par exemple, Pennebaker et coll. (2004) ont constaté que l'injection de testostérone entraînait une diminution significative dans la fréquence d'utilisation de mots à connotations sociales tels que les pronoms personnels référant aux autres (p. ex. *nous, elle, eux*) et les verbes reliés à la communication (p. ex. *entendre, dire, partager*). Ces résultats suggèrent que la testostérone a des effets inhibiteurs sur les moyens d'expression qui servent à désigner les rapports avec autrui. Or, on peut s'attendre à ce que de tels effets aient des répercussions sur les **interactions sociales** des individus. Sur ce point, Knickmeyer et coll. (2005) ont démontré que le taux de testostérone fœtale corrélait négativement avec

la qualité des relations sociales et la diversité des intérêts chez les enfants. D'autres recherches ont révélé que l'hormone mâle influençait la quantité de contacts visuels entre les nouveau-nés et leurs parents (Lutchmaya et coll., 2002b), qui constitue un indice relié au développement social et à la communication. De plus, on a vu que certains troubles du développement caractérisés par des problèmes de communication, tels que l'autisme et le syndrome d'Asperger, étaient souvent associées à un haut degré d'exposition à la testostérone durant le stade prénatal (Manning et coll., 2001a). Tous les travaux ci-dessus indiquent que les effets des facteurs biologiques s'étendent même jusqu'à certains aspects sociaux du comportement langagier.

Par ailleurs, en considérant les résultats sur le débit, il est plausible que les effets accélérateurs de la testostérone sur les temps de réaction aient une incidence sur le comportement en contexte de conversation. Ainsi, on peut supposer que les individus qui présentent un haut niveau de testostérone auront tendance à répliquer plus promptement aux commentaires d'un interlocuteur et à démontrer plus d'*agressivité* lors d'une discussion. Dans cet ordre d'idées, Connor et Pourcel (2005) ont observé que les sujets ayant un niveau élevé de testostérone utilisaient un style de communication qualifié de « masculin » ou de « dominant » et avaient tendance à attirer l'attention en contrôlant le sujet de conversation, en coupant fréquemment la parole, en parlant plus fort et en bougeant plus que les autres. À l'inverse, les individus dont le taux de testostérone est bas ont adopté un style « féminin » ou « coopératif » en employant des formules de politesse, en posant plus de questions, en respectant davantage les tours de parole et en utilisant l'emphase émotive plus souvent. Il semblerait donc que les concentrations d'hormones en présence chez un individu affectent les stratégies et les attitudes communicatives qu'il adopte en société.

Bien que l'ensemble des effets ci-dessus peuvent être déduits à partir d'un facteur causal commun (l'influence accélératrice et focalisatrice de la testostérone), le présent travail n'établit aucun lien précis *entre* les variables. Par exemple, on peut se demander si un individu qui parle à un débit rapide sera également enclin à s'exprimer en utilisant un lexique restreint. Or, de tels liens nécessitent des mesures et un design d'analyse multifactorielle qui s'appliquent au discours. Les limites de ce travail tiennent donc au

fait qu'il soit impossible d'extrapoler l'étendue des effets hormonaux aux variables discursives à partir des résultats rapportés ici. Néanmoins, le caractère exploratoire et la perspective d'ensemble de la présente étude ont permis de dégager des variables centrales, comme les aspects temporels de la performance langagière, qui sont reliées aux facteurs hormonaux et qui peuvent jouer un rôle fondamental dans le discours et la communication orale.

## 10. Conclusion et prospective de recherche

La présente recherche se distingue d'autres études par le fait qu'un ensemble de variables a été considéré dans le but spécifique d'évaluer l'influence relative des facteurs hormonaux sur la performance verbale. Cette approche globale a permis d'observer des corrélations systématiques entre le taux de testostérone salivaire et certains aspects reliés à la temporalité de la parole. Une telle découverte soulève des questions quant à l'étendue des effets hormonaux sur la communication orale. Plus précisément, on peut se demander si les liens entre les stéroïdes sexuels et les variables temporelles de la performance langagière se reflètent dans les moyens expressifs et les stratégies communicatives employés par les individus durant leurs interactions avec autrui. Par exemple, les effets accélérateurs des hormones sexuelles sur la rapidité d'exécution et les mécanismes d'attention pourraient se manifester comme des réactions impulsives et des opinions arrêtées lors d'une conversation. En outre, les effets modérateurs de la testostérone sur l'accès lexical pourraient révéler des difficultés à s'exprimer de manière variée et à établir des liens associatifs avec son interlocuteur.

Dans ce sens, la prochaine étape consiste à élaborer une expérience impliquant les composantes discursive et sociale du comportement langagier. Les tâches utilisées devront tenir compte des facteurs temporels qui font fluctuer les niveaux d'hormones, en particulier les cycles saisonniers que suivent les taux de testostérone (Dabbs, 1990a). On pourrait s'attendre à ce que la variation circannuelle des concentrations hormonales se reflète dans les performances verbales des sujets. Par ailleurs, les hormones analysées devront inclure la testostérone, mais également d'autres stéroïdes tels que le cortisol et l'œstradiol (le principal œstrogène), qui fluctuent selon les saisons (Rosmalen et coll., 2005) et affectent la performance langagière (Hampson, 1990). Ainsi, cette expérience permettra de mieux saisir les effets agonistes et antagonistes des hormones stéroïdes et de dégager leur influence respective sur la communication orale humaine.

## 11. Bibliographie

- Abitbol, J., Abitbol, P. et Abitbol, B. (1999). Sex hormones and the female voice. *Journal of Voice*, 13, 424-446.
- Acevedo, A., Loewenstein, D. A., Barker, W. W., Hardwood, D. G., Luis, C., Bravo, M., Hurwitz, D. A., Agüero, H., Greenfield, L. et Duara, R. (2000). Category fluency test: Normative data for English and Spanish speaking elderly. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6, 760-769.
- Andrew, R. L. et Rogers, L. (1972). Testosterone, search behaviour, and persistence. *Nature*, 237, 343-346.
- Avery, J. D. et Liss, J. M. (1996). Acoustic characteristics of less-masculine-sounding male speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99, 3738-3748.
- Axelsson, J., Ingre, M., Aakerstedt, T. et Holmbäck, U. (2005). Effects of acutely displaced sleep on testosterone. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90, 4530-4535.
- Beato, M., Chavez, S. et Truss, M. (1996). Transcriptional regulation by steroid hormones. *Steroids*, 61, 240-251.
- Beckford, N. S., Rood, S. R., Schaid, D. et Schanbacher, B. (1985). Androgen stimulation and laryngeal development. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 94, 634-640.
- Bennett, S. et Weinberg, B. (1979). Acoustic correlates of perceived sexual identity in preadolescent children's voices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 989-1000.
- Borges-Martins, L., Betea, D., Daly, A. et Beckers, A. (2005). Diabètes secondaires à une endocrinopathie. *Revue médicale de Liège*, 60, 442-447.
- Boulet, M. J. et Oddens, B. J. (1996). Female voice changes around and after the menopause: An initial investigation. *Maturitas*, 23, 15-21.
- Brend, R. M. (1975). Male-female intonation patterns in American English. In B. Thorne et N. Henley (Réd.), *Language and Sex: Difference and Dominance* (p. 84-88). Browley, MA: Newbury House.
- Brodnitz, F. S. (1979). Menstrual cycle and voice quality. *Archives of Otolaryngology*, 105, 300.
- Brown, W. M., Hines, M., Fane, B. et Breedlove, S. M. (2002). Masculinised finger length ratios in humans with congenital adrenal hyperplasia. *Hormones and Behavior*, 42, 380-386.
- Bruckert, L., Liénard, J.-S., Lacroix, A., Kreutzer, M. et Leboucher, G. (2006). Women use voice parameters to assess men's characteristics. *Proceedings of the Royal Society B*, 273, 83-89.
- Byrd, D. (1994). Relations of sex and dialect to reduction. *Speech Communication*, 15, 39-54.

- Carlson, L. E. et Sherwin, B. B. (2000). Higher levels of plasma estradiol and testosterone in healthy elderly men compared with age-matched women may protect aspects of explicit memory. *Menopause*, 7, 168-177.
- Caruso, S., Roccasalva, L., Sapienza, G., Zappalá, M., Nuciforo, G. et Biondi, S. (2000). Laryngological aspects in women with surgically induced menopause who were treated with transdermal estrogen replacement therapy. *Fertility and Sterility*, 74, 1073-1079.
- Chapurlat, R. D., Bauer, D. C. et Cummings, S. R. (2001). Association between endogenous hormones and sex hormone-binding globulin and bone turnover in older women: Study of osteoporotic fractures. *Bone*, 29, 381-387.
- Cherrier, M. M., Asthana, S., Plymate, S., Baker, L., Matsumoto, A. M., Peskind, E., Raskind, M. A., Brodtkin, K., Bremner, W., Petrova, A., LaTendresse, S. et Craft, S. (2001). Testosterone supplementation improves spatial and verbal memory in healthy older men. *Neurology*, 57, 80-88.
- Christiansen, K. (1993). Sex hormone-related variations of cognitive performance in Kung San hunter-gatherers of Namibia. *Neuropsychobiology*, 27, 97-107.
- Coleman, R. O. (1976). A comparison of the contributions of two voice quality characteristics to the perception of maleness and femaleness in the voice. *Journal of Speech and Hearing Research*, 19, 168-180.
- Connor, S. et Pourcel, S. (2005). An investigation into hormonal impacts on the social use of language. *Durham and Newcastle Working Papers in Linguistics*, 11, 13-25.
- Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New York: Psychology Press.
- Csathó, Á., Osváth, A., Karádi, K., Bisák, É., Manning, J. et Kállai, J. (2003). Spatial navigation related to the second to fourth digit length in women. *Learning and Individual Differences*, 13, 239-249.
- Dabbs, J. M. (1990a). Age and seasonal variation in serum testosterone concentration among men. *Chronobiology International*, 7, 245-249.
- Dabbs, J. M. (1990b). Salivary testosterone measurements: Reliability across hours, days, and weeks. *Physiology and Behavior*, 48, 83-86.
- Dabbs, J. M. (1991). Salivary testosterone measurements: Collecting, storing, and mailing saliva samples. *Physiology and Behavior*, 49, 815-817.
- Dabbs, J. M., Campbell, B. C., Gladue, B. A., Midgley, A. R., Navarro, M. A., Read, G. F., Susman, E. J., Swinkels, L. M. J. et Worthman, C. M. (1995). Reliability of salivary testosterone measurements: A multicenter evaluation. *Clinical Chemistry*, 41, 1581-1584.
- Dabbs, J. M. et Dabbs, M. G. (2000). *Heroes, Rogues, and Lovers: Testosterone and Behavior*. New York: McGraw-Hill.
- Dabbs, J. M. et Mallinger, A. (1999). High testosterone levels predict low voice pitch among men. *Personality and Individual Differences*, 27, 801-804.

- de Bruin, E. I., Verheij, F., Wiegman, T. et Ferdinand, R. F. (2006). Differences in finger length ratio between males with autism, pervasive developmental disorder not otherwise specified, ADHD, and anxiety disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 48, 962-965.
- Diehl, R. L., Lindblom, B., Hoemeke, K. A. et Fahey, R. P. (1996). On explaining certain male-female differences in the phonetic realization of vowel categories. *Journal of Phonetics*, 24, 187-208.
- Elliott, V. S. (2006). Testosterone therapy shows promise for treating type 2 diabetes in men. *American Medical News*. <http://www.ama-assn.org/amednews/2006/11/13/hlsb1113.htm>
- Ellison, P. T., Bribiescas, R. G., Bentley, G. R., Campbell, B. C., Lipson, S. F., Panter-Brick, C., et Hill, K. (2002). Population variation in age-related decline in male salivary testosterone. *Human Reproduction*, 17, 3251-3253.
- Falter, C. M., Arroyo, M. et Davis, G. J. (2006). Testosterone: Activation or organization of spatial cognition? *Biological Psychology*, 73, 132-140.
- Fichtelius, A., Johansson, I. et Nordin, K. (1980). Three investigations of sex-associated speech variation in day school. *Women's Studies International Quarterly*, 3, 219-225.
- Fitch, W. T. et Giedd, J. (1999). Morphology and development of the human vocal tract: A study using magnetic resonance imagery. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106, 1511-1521.
- Franklin, C. M. (1984). *The Changing Definition of Masculinity*. New York: Plenum.
- Fuchs, C. (1998). The effect of androgen excess on cognitive functioning in women. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering*, 58, 3922.
- Gaudio, R. P. (1994). Sounding gay: Pitch properties in the speech of gay and straight men. *American Speech*, 69, 30-57.
- González, J. (2004). Formant frequencies and body size of speaker: A weak relationship in adult humans. *Journal of Phonetics*, 32, 277-287.
- Gordon, H. W. et Lee, P. A. (1986). A relationship between gonadotropins and visuospatial function. *Neuropsychologia*, 24, 563-576.
- Granger, D. A., Schwartz, E. B., Booth, A. et Arentz, M. (1999). Salivary testosterone determination in studies of child health and development. *Hormones and Behavior*, 35, 18-27.
- Granger, D. A., Shirtcliff, E. A., Booth, A., Kivlighan, K. T. et Schwartz, E. B. (2004). The "trouble" with salivary testosterone. *Psychoneuroendocrinology*, 29, 1229-1240.
- Halpern, D. F. (2000). *Sex Differences in Cognitive Abilities*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hampson, E. (1990). Estrogen-related variations in human spatial and articulatory-motor skills. *Psychoneuroendocrinology*, 15, 97-111.

- Harries, M. L., Walker, J. M., Williams, D. M., Hawkins, S. et Hughes, I. A. (1997). Changes in the male voice at puberty. *Archives of Disease in Childhood*, 77, 445-447.
- Henton, C. (1989). Fact and fiction in the description of female and male pitch. *Language and Communication*, 9.4, 299-311.
- Hillenbrand, J., Getty, L. A., Clark, M. J. et Wheeler, K. (1995). Acoustic characteristics of American English vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 3099-3111.
- Hollien, H., Green, R. et Massey, K. (1994). Longitudinal research on adolescent voice change in males. *Journal of the Acoustical Society of America*, 96, 2646-2654.
- Ingemann, F. (1968). Identification of the speaker's sex from voiceless fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America*, 44, 1142-1144.
- Kahane, J. C. (1982). Growth of the human prepubertal and pubertal larynx. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 446-455.
- Karlsson, F., Zetterholm, E. et Sullivan, K. P. H. (2004). Development of a gender difference in voice onset time. *Proceedings of the 10th Australian International Conference on Speech Science and Technology*, 316-321.
- Kerrigan, J. R. et Rogol, A. D. (1992). The impact of gonadal steroid hormone action on growth hormone secretion during childhood and adolescence. *Endocrine Reviews*, 13, 281-298.
- Kimura, D. (1999). *Sex and Cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kirkpatrick, S. W., Campbell, P. S., Wharry, R. E. et Robinson, S. L. (1993). Salivary testosterone in children with and without learning disabilities. *Physiology and Behavior*, 53, 583-586.
- Knickmeyer, R., Baron-Cohen, S., Raggatt, P. et Taylor, K. (2005). Foetal testosterone, social relationships, and restricted interests in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46, 198-210.
- Lass, N. J., Hughes, K. R., Bowyer, M. D., Waters, L. T. et Bourne, V. T. (1976). Speaker sex identification from voiced, whispered, and filtered isolated vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 59, 675-678.
- Lee, S., Potamianos, A. et Narayanan, S. (1999). Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal and spectral parameters. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 1455-1468.
- Lindholm, P., Vilkmann, E., Raudaskoski, T., Suvanto-Luukkonen, E. et Kauppila, A. (1997). The effect of postmenopause and postmenopausal HRT on measured voice values and vocal symptoms. *Maturitas*, 28, 47-53.
- Linville, S. E. (1998). Acoustic correlates of perceived versus actual sexual orientation in men's speech. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 50, 35-48.



- Lipson, S. F. et Ellison, P. T. (1989). Development of protocols for the application of salivary steroid analyses to field conditions. *American Journal of Human Biology*, *1*, 249-255.
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S. et Raggatt, P. (2002a). Foetal testosterone and vocabulary size in 18- and 24-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, *24*, 418-424.
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S. et Raggatt, P. (2002b). Foetal testosterone and eye contact in 12-month-old human infants. *Infant Behavior and Development*, *25*, 327-335.
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., Knickmeyer, R. et Manning, J. T. (2004). 2nd to 4th digit ratios, fetal testosterone and estradiol. *Early Human Development*, *77*, 23-28.
- Maki, P. M., Rich, J. B. et Rosenbaum, R. S. (2002). Implicit memory varies across the menstrual cycle: Estrogen effects in young women. *Neuropsychologia*, *40*, 518-529.
- Manning, J. T. (2002). *Digit Ratio*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- Manning, J. T., Barley, L., Walton, J., Lewis-Jones, D. I., Trivers, R. L., Singh, D., Thornhill, R., Rohde, P., Bereczkei, T. Henzi, P., Soler, M. et Szwed, A. (2000). The 2nd:4th digit ratio, sexual dimorphism, population differences, and reproductive success: Evidence for sexually antagonistic genes? *Evolution and Human Behavior*, *21*, 163-183.
- Manning, J. T., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S. et Sanders, G. (2001a). The 2nd to 4th digit ratio and autism. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *43*, 160-164.
- Manning, J. T., Bundred, P. E., Newton, D. J. et Flanagan, B. F. (2003). The second to fourth digit ratio and variation in the androgen receptor gene. *Evolution and Human Behavior*, *24*, 399-405.
- Manning, J. T., Scutt, D., Wilson, J. et Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: A predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, *13*, 3000-3004.
- Manning, J. T. et Taylor, R. P. (2001b). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, *20*, 61-69.
- Martin, J. T. et Nguyen, D. H. (2004). Anthropometric analysis of homosexuals and heterosexuals: implications for early hormone exposure. *Hormones and Behavior*, *45*, 31-39.
- Mazur, A. (2005). *Biosociology of Dominance and Deference*. Lanham, MD: Rowman and Littlefield.
- McConnell-Ginet, S. (1983). Intonation in a man's world. In B. Thorne, C. Kramarae et N. Henley (Éd.), *Language, Gender, and Society* (p. 69-88). Rowley, MA: Newbury House.

- McFadden, D. et Shubel, E. (2002). Relative lengths of fingers and toes in human males and females. *Hormones and Behavior*, 42, 492-500.
- Meuser, W. et Nieschlag, E. (1977). Sexualhormone und Stimmlage des Mannes. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 8, 261-264.
- Moffat, S. D., Zonderman, A. B., Metter, E. J., Blackman, M. R., Harman, S. M. et Resnick, S. M. (2006). Longitudinal assessment of serum free testosterone concentration predicts memory performance and cognitive status in elderly men. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 87, 5001-5007.
- Munson, B. (2007). The acoustic correlates of perceived masculinity, perceived femininity, and perceived sexual orientation. *Language and Speech*, 50, 125-142.
- Munson, B., McDonald, E. C., DeBoe, N. L. et White, A. R. (2006). The acoustic and perceptual bases of judgments of women and men's sexual orientation from read speech. *Journal of Phonetics*, 34, 202-240.
- Nahoul, K., Rao, L. V. et Scholler, R. (1986). Saliva testosterone time-course response to hCG in adult normal men: Comparison with plasma levels. *Journal of Steroid Biochemistry*, 24, 1011-1015.
- Nations Unies (2007). *Perspectives de la population mondiale : Révision de 2006*. New York: Département des affaires économiques et sociales.
- Neave, N., Laing, S., Fink, B. et Manning, J. T. (2003). Second to fourth digit ratio, testosterone and perceived male dominance. *Proceedings of the Royal Society of London*, 270, 2167-2172.
- Neave, N., Menaged, M. et Weightman, D. R. (1999). Sex differences in cognition: The role of testosterone and sexual orientation. *Brain and Cognition*, 41, 245-262.
- Need, A. G., Durbridge, T. C. et Nordin, B. E. (1993). Anabolic steroids in postmenopausal osteoporosis. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 143, 392-395.
- Nelson, R. J. (1995). *An Introduction to Behavioral Endocrinology*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- O'Connor, D. B., Archer, J., Hair, W. M. et Wu, F. C. W. (2001). Activational effects of testosterone on cognitive function in men. *Neuropsychologia*, 39, 1385-1394.
- Ökten, A., Kalyoncu, M. et Yaris, N. (2002). The ratio of second-and-fourth-digit lengths and congenital adrenal hyperplasia due to 21-hydroxylase deficiency. *Early Human Development*, 70, 47-54.
- Olejník, S., Li, J., Supattathum, S. et Humberty, C. J. (1997). Multiple testing and statistical power with modified bonferroni procedures. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 22, 389-406.
- Pattie, M. A., Murdoch, B. E., Theodoros, D. et Forbes, K. (1998). Voice changes in women treated for endometriosis and related conditions: The need for comprehensive vocal assessment. *Journal of Voice*, 12, 366-371.
- Pedersen, M. F., Moller, S., Krabbe, S. et Bennett, P. (1986). Fundamental voice frequency measured by electroglottography during continuous speech: A new exact

- secondary sex characteristic in boys in puberty. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 11, 21-27.
- Pennebaker, J. W., Groom, C. J., Loew, D. et Dabbs, J. M. (2004). Testosterone as a social inhibitor: Two case studies of the effect of testosterone treatment on language. *Journal of Abnormal Psychology*, 113, 172-175.
- Perry, T. L., Ohde, R. N. et Ashmead, D. H. (2001). The acoustic bases for gender identification from children's voices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 2988-2998.
- Peterson, G. E. et Barney, H. L. (1952). Control methods used in a study of the vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 24, 175-184.
- Pierrehumbert, J. B., Bent, T., Munson, B., Bradlow, A. R. et Bailey, J. M. (2004). The influence of sexual orientation on vowel production. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 1905-1908.
- Pryzgoda, J. et Chrisler, J. C. (2000). Definitions of gender and sex: The subtleties of meaning. *Sex Roles*, 43, 553-569.
- Puts, D. A., Gaulin, S. J. C. et Verdolini, K. (2006). Dominance and the evolution of sexual dimorphism in human voice pitch. *Evolution and Human Behavior*, 27, 283-296.
- Putz, D. A., Gaulin, S. J. C., Sporter, R. J. et McBurney, D. H. (2004). Sex hormones and finger length: What does 2D:4D indicate? *Evolution and Human Behavior*, 25, 182-199.
- Rahman, Q. et Wilson, G. D. (2003). Sexual orientation and the 2nd to 4th finger length ratio: Evidence for organising effects of sex hormones or developmental instability? *Psychoneuroendocrinology*, 28, 288-303.
- Rendall, D., Kollias, S., Ney, C. et Lloyd, P. (2005). Pitch (F0) and formant profiles of human vowels and vowel-like baboon grunts: The role of vocalizer body size and voice-acoustic allometry. *Journal of the Acoustical Society of America*, 117, 944-955.
- Ryalis, J., Le Dorze, G., Lever, N., Ouellet, L. et Lareul, C. (1994). The effects of age and sex on speech intonation and duration for matched statements and questions in French. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95, 2274-2276.
- Ryalls, J., Zipprer, A. et Baldauff, P. (1997). A preliminary investigation of the effects of gender and race on voice onset time. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 642-645.
- Schwartz, M. F. (1968). Identification of speaker sex from isolated, voiceless fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America*, 43, 1178-1179.
- Shute, V. J., Pellegrino, J. W., Hubert, L. et Reynolds, R. W. (1983). The relationship between androgen levels and human spatial abilities. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 21, 465-468.
- Simpson, A. P. (2001). Dynamic consequences of differences in male and female vocal tract dimensions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 2153-2164.

- Simpson, A. P. et Ericsson, C. (2007). *Sex-specific differences in F0 and vowel space*. Paper presented at the Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences, Saarbrücken, Germany.
- Smyth, R., Jacobs, G. et Rogers, H. (2003). Male voices and perceived sexual orientation: An experimental and theoretical approach. *Language in Society*, 32, 329-350.
- Smyth, R. et Rogers, H. (2002). Phonetics, gender, and sexual orientation. *Proceedings of the Annual Meeting of the Canadian Linguistics Association*, 299-311.
- Swartz, B. L. (1992). Gender difference in voice onset time. *Perceptual and Motor Skills*, 75, 983-992.
- Tabachnik, B. G. et Fidell, L. S. (1996). *Using Multivariate Statistics*. New York: Harper Collins.
- Titze, I. R. (1989). Physiologic and acoustic differences between male and female voices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85, 1699-1707.
- van Goozen, S. (1994). *Male and Female: Effects of Sex Hormones on Agression, Cognition, and Sexual Motivation*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- van Goozen, S. H. M., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J. G., Frijda, N. H. et van de Poll, N. E. (1994). Activating effects of androgens on cognitive performance: Causal evidence in a group of female-to-male transsexuals. *Neuropsychologia*, 32, 1153-1157.
- van Goozen, S. H. M., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J. G., Frijda, N. H. et van de Poll, N. E. (1995). Gender differences in behaviour: Activating effects of cross-sex hormones. *Psychoneuroendocrinology*, 20, 343-363.
- Vargha-Khadem, F., Gadian, D. G., Copp, A. et Mishkin, M. (2005). FOXP2 and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 131-137.
- Vermulen, A. et Verdonck, L. (1972). Some studies on the biological significance of free testosterone. *Journal of Steroid Biochemistry*, 3, 421-426.
- Vitteck, J., L'Hommedieu, D. G., Gordon, G. G., Rappaport, S. C. et Southren, A. L. (1985). Direct radioimmunoassay (RIA) of salivary testosterone: Correlations with free and total serum testosterone. *Life Sciences*, 37, 711-716.
- Webber, K. M., Casadesus, G., Zhu, X., Obrenovich, M. E., Atwood, C. S., Perry, G., Bowen, R. L. et Smith, M. A. (2006). The cell cycle and hormonal fluxes in Alzheimer disease: A novel therapeutic target. *Current Pharmaceutical Design*, 12, 691-697.
- Whiteside, S. P. (1996). Temporal-based acoustic-phonetic patterns in read speech: Some evidence for speaker sex differences. *Journal of the International Phonetic Association*, 26, 23-40.
- Whiteside, S. P. et Irving, C. J. (1997). Speakers' sex differences in voice onset time: Some preliminary findings. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 459-463.

- Whiteside, S. P. et Marshall, J. (2001). Developmental trends in voice onset time: Some evidence for sex differences. *Phonetica*, 58, 196-201.
- Winkler, E.-M. et Christiansen, K. (1991). Anthropometric-hormonal correlation patterns in San and Kavango males from Namibia. *Annals of Human Biology*, 18, 341-355.
- Wolf, O. T. et Kirschbaum, C. (2002). Endogeneous estradiol and testosterone levels are associated with cognitive performance in older women and men. *Hormones and Behavior*, 41, 259-266.
- Wolf, O. T., Preut, R., Hellhammer, D. H., Kudielka, B. M., Schürmeyer, T. H. et Kirschbaum, C. (2000). Testosterone and cognition in elderly men: A single testosterone injection blocks the practice effect in verbal fluency, but has no effect on spatial or verbal memory. *Biological Psychiatry*, 47, 650-654.
- Wu, K. et Childers, D. G. (1991). Gender recognition from speech, part 1: Coarse analysis. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90, 1828-1840.
- Yonker, J. E., Adolfsson, R., Eriksson, E., Hellstrand, M., Nilsson, L. G. et Herlitz, A. (2006). Verified hormone therapy improves episodic memory performance in healthy postmenopausal women. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 13, 291-307.
- Zitzmann, M. et Nieschlag, E. (2001). Testosterone levels in healthy men and the relation to behavioural and physical characteristics: Facts and constructs. *European Journal of Endocrinology*, 144, 183-197.