

LES DYSFONCTIONNEMENTS DE LA VOIX CHANTÉE*

Nicole Scotto Di Carlo

Résumé

Les causes des principaux dysfonctionnements rencontrés chez les chanteurs débutants sont recensées et analysées, afin d'apporter aux professeurs de chant et aux thérapeutes de la voix des éléments de réflexion et des indications qui leur permettent d'identifier les mécanismes en jeu et de mettre en place leurs stratégies d'intervention.

Mots-clés : voix chantée, dysfonctionnement, indices acoustiques, indices perceptifs, chanteurs professionnels, chanteurs débutants.

Abstract

The causes of the main voice dysfunctions encountered in student singers, which have not yet become functional voice disorders, are listed and analyzed. The goal is to provide singing teachers and voice therapists with useful information and indications for identifying the underlying mechanisms of these dysfunctions and devising appropriate intervention strategies.

Keywords : singing voice, vocal functional disorders, acoustic cues, perceptive cues, professional singers, students in singing.

* Le texte de cette conférence présentée à l'École d'Orthophonie, Faculté de Médecine de Nice-Sophia Antipolis, le 23 mai 2002 a été publié dans l'ouvrage *Voix Parlée et Voix Chantée* paru en décembre 2006 aux éditions Klein-Dallant, Paris. L'auteur remercie l'éditrice de l'avoir autorisée à publier la version complétée et mise à jour de ce texte dans le n° 26 des *TIPA* consacré à la pathologie.

SCOTTO DI CARLO, Nicole (2007), Les dysfonctionnements de la voix chantée, *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, vol. 26, p. 153-177.

1. Introduction

On établit généralement une distinction entre dysfonctionnements et dysodies. Les dysfonctionnements de la voix chantée sont des maladresses techniques ou des inaptitudes passagères qui apparaissent en cours d'apprentissage et résultent d'un défaut de maîtrise. Les dysodies sont des troubles pathologiques permanents qui reflètent un dysfonctionnement installé après une aggravation progressive.

Sous le terme de dysfonctionnement de la voix chantée, nous regroupons donc les problèmes de technique vocale que peuvent rencontrer les jeunes chanteurs au cours de leurs études et que les professeurs de chant vont leur permettre de dépasser. Si toutefois s'installe une dysodie fonctionnelle, elle sera alors prise en charge par les phoniatres et les orthophonistes dont les stratégies rééducatives nécessitent de connaître avec précision les processus qui ont abouti à ces dysfonctionnements.

Nous allons examiner les différentes étapes de la production d'un son avant d'en analyser, chez les chanteurs professionnels, les mécanismes qui nous serviront de référence. Nous examinerons ensuite les causes des principaux dysfonctionnements observés chez les élèves, en apportant des éléments de réflexion et des explications qui permettront, d'une part au professeur de chant, d'analyser les productions de son élève pour lui proposer les exercices progressifs les plus appropriés et d'autre part au thérapeute, de comprendre les mécanismes physiologiques et acoustiques mis en jeu, afin d'élaborer les exercices de rééducation les mieux adaptés.

2. Phases d'un son

Comme tout phénomène temporel, un son quel qu'il soit, comporte trois phases :

- un début (l'attaque) ;
- un milieu (la tenue) ;
- et une fin (l'extinction).

Nous allons commencer par étudier ces trois phases afin de savoir, pour chacune d'elles, ce qui se passe chez les chanteurs confirmés et les risques de dysfonctionnements pouvant survenir chez les chanteurs débutants. Nous analyserons ensuite le passage d'un son à un autre et les problèmes qu'il peut engendrer.

2.1. Attaque

2.1.1. Généralités

2.1.1.1. Définition

« Dans la terminologie professionnelle du chant, on appelle *attaque des sons* la façon dont on utilise la musculature glottique et le souffle, conjointement, pour produire les premières périodes d'une voyelle émise sur une fréquence donnée. » (Husson, 1962).

2.1.1.2. Mécanisme

Du point de vue physiologique, l'attaque se décompose en quatre phases :

- Mise sous tension de la musculature laryngée et respiratoire ayant pour conséquence de faire passer le larynx de sa position de repos à sa position phonatoire ;
- Début de l'expiration avec une pression subglottique variable selon le type d'attaque à réaliser et l'intensité du son à émettre ;
- Fin de l'adduction des cordes vocales (si la glotte n'est pas déjà fermée) ;
- Mise en vibration des cordes vocales donnant naissance au son (Husson, 1962).

2.1.1.3. Types d'attaques

Quel que soit le type d'attaque réalisé, la première phase (mise en place des organes) et la dernière (début de l'émission sonore) demeurent identiques. Seul, l'ajustement chronologique des deux phases intermédiaires (réalisation de l'occlusion glottique et déclenchement du mécanisme expirateur) permet d'établir une distinction entre les divers types d'attaque :

- Lorsque la poussée expiratoire et la fermeture de la glotte sont parfaitement synchrones, l'attaque donne une impression auditive d'agréable douceur, d'où son nom d'*attaque douce*. On la désigne également sous le nom d'*attaque normale* et d'*attaque simultanée* ;
- Lorsque la poussée expiratoire précède la fermeture de la glotte, l'attaque se fait avec un bruit de souffle qui lui vaut le nom d'*attaque soufflée* ou d'*attaque sur le souffle*. Cette attaque est parfois appelée attaque *aspirée* (du latin « aspirare » = souffler) ;
- Enfin, lorsque la fermeture de la glotte précède la poussée expiratoire, l'impression auditive donnée par l'attaque est d'une dureté désagréable. C'est l'*attaque en coup de glotte* que l'on appelle également *attaque dure*.

2.1.1.4. Causes des dysfonctionnements

L'*attaque soufflée* peut être due à un débit d'air trop rapide, à une pression subglottique si importante qu'elle empêche les cordes vocales de s'accoler correctement (Bunch, 1982) ou à un tonus d'accolement glottique trop faible, se manifestant par une fuite d'air, comme c'est très souvent le cas chez les débutants dont la tonicité musculaire est encore insuffisante.

Chez les élèves débutants, les *attaques en coup de glotte* sont très souvent dues à une consigne chère à certains professeurs de chant : « Respirez, bloquez, chantez ! » qui entraîne une prise d'air suivie d'un blocage où les cordes vocales sont en adduction forcée pour empêcher l'air de s'écouler. Au moment de l'attaque, sous l'effet de la pression subglottique qui est très importante, elles s'écartent brutalement avec un bruit d'explosion. On trouve ce type d'attaque non seulement chez les débutants qui ont des difficultés à coordonner fermeture glottique et poussée expiratoire mais également chez les professionnels lorsque la pression subglottique est trop importante par rapport à la hauteur ou à l'intensité du son à émettre, c'est-à-dire lorsqu'ils « poussent »¹.

Ce type d'attaque présente un réel danger pour les cordes vocales à cause de la violence avec laquelle elles s'affrontent, ce qui crée des micro-traumatismes répétés, similaires à ceux provoqués par la toux ou le hémorragie.

2.1.2. Attaques vocaliques

2.1.2.1. Incidence du type d'attaque sur la justesse

L'analyse acoustique des divers types d'attaque permet de constater :

- une attaque au niveau pour les attaques douces ;
- une attaque en-dessous, de l'ordre du demi-ton, pour les attaques soufflées ;
- une attaque en-dessus, de trois quart de ton en moyenne, pour les attaques en coup de glotte.

On peut expliquer les rapports qui existent entre les variations du fondamental et les types d'attaque par le degré de contraction des cordes vocales et le niveau de la force expiratoire pendant la quatrième phase de l'attaque, c'est-à-dire au moment de la mise en vibration des cordes vocales.

Dans *l'attaque en coup de glotte*, le son commence trop haut parce qu'au moment de l'émission, l'ensemble des muscles expirateurs est fortement mobilisé. Par ailleurs, les cordes vocales étant hypercontractées, le tonus glottique très élevé va entraîner une augmentation ponctuelle de la pression subglottique et par conséquent de la hauteur et de l'intensité. En revanche, dans *l'attaque*

1. Les mots entre guillemets sont des termes de technique vocale utilisés par les chanteurs et les professeurs de chant.

soufflée, les muscles expirateurs sont peu sollicités, la pression expiratoire est faible, le tonus d'accolement glottique est moins important, ce qui va avoir pour effet une baisse de la pression subglottique et par voie de conséquence, une chute de l'intensité et de la hauteur, la conjonction de ces phénomènes entraînant une attaque basse (Scotto Di Carlo, 1975).

2.1.3. Attaques consonantiques

Les attaques sur des mots commençant par une consonne ne posent pas de problèmes particuliers dans le grave, le bas médium et le médium. Dès le haut médium, les consonnes sonores, et en particulier les occlusives dont la réalisation nécessite une descente importante du larynx, déstabilisent la position laryngée chez les chanteurs débutants mais également chez les chanteurs professionnels et en particulier chez ceux qui sont dotés d'une voix aiguë et qui chantent avec un larynx un peu plus haut que sa position de repos, ce qui entraîne des problèmes de justesse.

Dans le chant, sous l'effet de la pression expiratoire qui est considérable, les consonnes dont le point d'articulation est instable sont souvent accompagnées de souffle. C'est le cas notamment pour les dorso-vélaires et pour [k] en particulier, car en raison de sa flaccidité, le voile du palais résiste mal à une forte pression intra-orale. On observe ce phénomène beaucoup plus rarement sur les occlusives dentales. Il se produit dans le haut médium et l'aigu où l'on constate un recul du lieu d'articulation ou bien lorsque le chanteur sous-articule, ce qui entraîne également une postériorisation de l'articulation. Dans ce cas, les apico-dentales [t], [d], deviennent des apico-alvéolaires [t^h], [d^h], d'où l'impression que donnent certains chanteurs français d'avoir un accent étranger (Scotto Di Carlo, 2007).

2.1.4. Attaques post-consonantiques

Dans la parole, on observe des micro-variations de hauteur sur les voyelles précédées d'une consonne. Ces phénomènes micro-prosodiques sont plus ou moins importants en fonction des types de consonnes. Si les consonnes sonores ont pour effet d'abaisser la fréquence fondamentale de la voyelle subséquente, les consonnes sourdes correspondantes ont tendance au contraire à l'augmenter (Di Cristo, 1985). Dans le chant, ce phénomène ne se produit que pour les consonnes émises à une fréquence inférieure à 659 Hz, ce qui correspond au mi₄². À partir de 659 Hz, l'ensemble des consonnes, qu'elles soient sourdes ou sonores, aggravent l'attaque de la voyelle

2. Afin de faciliter le repérage des notes sans avoir recours à une transcription musicale ou à des périphrases, les acousticiens de la musique numérotent les octaves en les affectant d'un chiffre qui permet de les situer dans l'échelle sonore. L'octave dans laquelle se situe le « la du diapason » est l'octave 3. C'est dans cette même octave que se trouve le do₃, le fameux « do-de-la-serrure-du-piano », ainsi que l'appellent les musiciens.

subséquente. Cela signifie que toutes les consonnes chantées par un soprano dans le haut médium et l'aigu vont entraîner une attaque trop basse de la voyelle qui suit. Cet effet augmentant avec la fréquence, dans le registre aigu du soprano, la chute du fondamental peut atteindre et même dépasser l'octave. C'est ainsi par exemple que, sur un contre-ut (do₅) pour la consonne [d], on a pu enregistrer chez un soprano professionnel à qui l'on avait demandé de veiller à l'articulation, une attaque basse de 406 savarts³, soit un intervalle de dixième⁴ (ou 15 demi-tons) entre l'attaque (3) et la tenue de la voyelle (4), (*cf.* fig. 1).

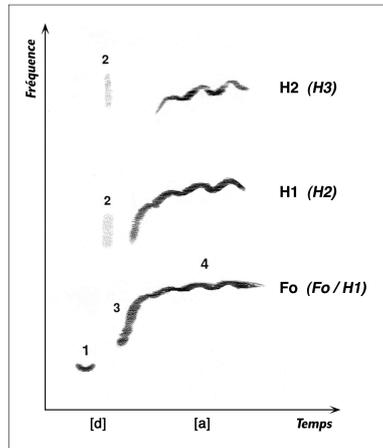


Figure 1
*Sonagramme de la séquence [da]
 chantée par un soprano sur un contre-ut (do₅) en veillant à l'articulation*

Les contraintes de justesse auxquelles sont soumis les chanteurs d'opéra vont les amener à mettre au point des stratégies dans le but d'atténuer ce phénomène : réduction du degré d'occlusion, de la durée et de la force articuloire des consonnes, qui sont les principales caractéristiques de la sous-articulation. Ces stratégies articuloires sont d'autant plus développées que le chanteur possède une voix plus aiguë (Scotto Di Carlo, 2007).

3. Le savart (Svt) est l'unité d'intervalle musical utilisée par les acousticiens français. Il correspond au plus petit intervalle musical perceptible dans des conditions optimales. (1 comma = 5 savarts). Pour mesurer les intervalles musicaux, les anglo-saxons utilisent le *Cent* qui correspond au centième de demi-ton tempéré.

4. Voir la définition des sauts d'intervalles dans le paragraphe 3.1.1. *Passage d'un son à un autre.*

2.2. Tenue

2.2.1. Son vibré isolé

Dans la voix chantée, la tenue d'un son vibré isolé ou à l'initiale d'un groupe respiratoire, se décompose en quatre phases :

- un temps d'ajustement (2) qui correspond au délai du feed-back auditif et au cours duquel le chanteur rectifie sa justesse d'émission par rapport à l'attaque ;
- un temps de latence (3) qui lui permet de s'assurer de la bonne hauteur du son avant de commencer à le faire vibrer ;
- un temps de stabilisation (4) au cours duquel s'installe le vibrato qui est très souvent instable dans ses premières périodes ;
- et enfin un temps de stabilité (5) qui apparaît lorsque le vibrato est parfaitement stabilisé (*cf.* fig. 2).

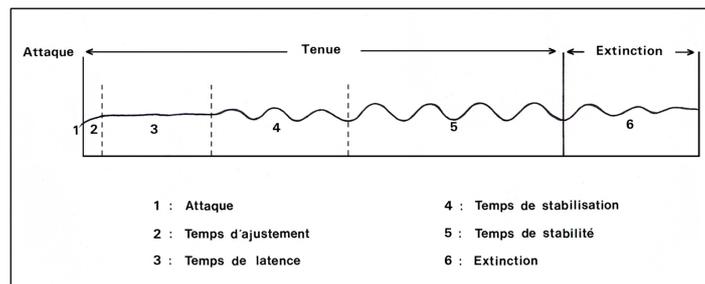


Figure 2

Schéma des différentes phases d'un son vibré

2.2.2. Le vibrato

2.2.2.1. Son blanc / Son vibré

Pour émettre un son d'une hauteur donnée, un do^3 à 262 Hz par exemple, le chanteur d'opéra a deux possibilités :

- ou bien il émet un son rigoureusement stable à 262 Hz, sans aucune variation de hauteur ni d'intensité et c'est ce que l'on appelle un *son blanc* ou un *son droit* (*straight tone* pour les anglo-saxons) ;
- ou bien il émet un son dont l'intensité peut ou non être stable et dont la hauteur oscille périodiquement autour de 262 Hz. C'est ce que l'on appelle un *son vibré*.

Dans le chant classique, le son vibré est d'un usage courant, alors que le son blanc n'est utilisé qu'à des fins expressives.

2.2.2.2. Définition

Le *vibrato vocal* est caractérisé par des variations périodiques de fréquence, d'intensité et de timbre qui peuvent être synchrones ou en opposition de phase.

Il faut donc établir une distinction entre *vibrato de fréquence* pour désigner les modulations de hauteur, *vibrato d'intensité* pour désigner les modulations d'amplitude et *vibrato de timbre* pour désigner les modifications périodiques de timbre. Les vibratos d'intensité et de timbres étant erratiques et par voie de conséquence difficilement analysables, lorsqu'on parle de vibrato, il s'agit du vibrato de fréquence.

2.2.2.3. Paramètres du vibrato de fréquence

Étant donné la forme sinusoïdale que revêt le vibrato de fréquence, nous avons adopté une terminologie empruntée au vocabulaire utilisé traditionnellement en physique pour décrire les sinusoïdes. Nous avons donc appelé :

- fréquence maximale (FM), la limite supérieure du son vibré ;
- fréquence minimale (Fm), la limite inférieure du son vibré ;
- amplitude (Av), l'intervalle musical compris entre les valeurs extrêmes du son vibré, c'est-à-dire entre sa fréquence maximale et sa fréquence minimale (*Extent* pour les anglo-saxons) ;
- périodicité (Pv), le nombre de modulations de fréquence par unité de temps (*Rate* pour les anglo-saxons) (*cf.* fig. 3).

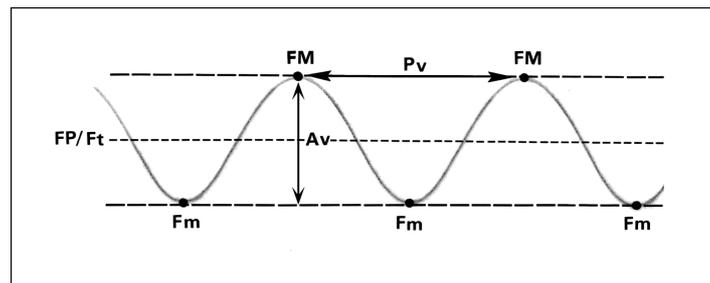


Figure 3
Paramètres du vibrato de fréquence

2.2.2.4. Caractéristiques

Après avoir attribué le vibrato aux oscillations de la pression subglottique (Shilling, 1922), à l'activité fluctuante des muscles vocaux (Winckel, 1953 ; Hirano, 1989) puis au fonctionnement laryngé (Shipp *et al.*, 1980), on estime actuellement que le vibrato résulte d'un parfait équilibre entre les différentes coordinations musculaires nécessaires à l'exécution du geste vocal (Cornut, 2005), ce qui explique qu'on ne le trouve que dans les voix travaillées et que toute manœuvre défectueuse ait un retentissement sur sa qualité. Il se détériore en cas de mauvaise utilisation de l'appareil vocal et avec l'âge.

2.2.2.5. Anomalies et causes des dysfonctionnements

Tous les paramètres peuvent être atteints.

* l'amplitude

La norme est située entre 1/4 et 3/4 de ton.

– Au-dessous d'1/4 de ton, le son est mat, dur, désagréable. Dans le haut médium et l'aigu, il paraît beaucoup plus intense qu'il ne l'est en réalité et lorsque le sujet possède une voix puissante, le son émis est difficilement supportable pour les auditeurs.

On trouve ce type de vibrato dans les voix incultes, chez les débutants qui ont des difficultés à coordonner l'ensemble de la musculature mise en jeu dans le geste vocal ou chez les sujets qui présentent des tensions musculaires importantes empêchant le libre fonctionnement de l'appareil vocal.

– Au-dessus d'un ton, le son est instable. On dit que la voix « bouge » et, lorsque c'est plus grave, que le chanteur « bêle ».

Ce défaut est généralement dû à un soutien inefficace. Pour les chanteurs dotés de voix légères, par exemple, on observe un appui diaphragmatique situé beaucoup plus haut que chez les autres chanteurs, ce qui peut induire des tensions musculaires importantes, responsables de l'instabilité du débit d'air. La métaphore de la balle de ping-pong posée sur un jet d'eau, qu'utilisent les professeurs de chant, permet de faire comprendre à l'élève que pour que la balle soit en équilibre sur le jet d'eau, il faut que la pression de celui-ci soit constante et son débit régulier. Chez les sujets âgés, la cause du « bêlement » résulte du processus de sénescence (involution du système nerveux, modifications anatomiques des organes phonatoires et en particulier : atrophie musculaire, réduction de la vascularisation, ossification des cartilages laryngés, réduction de la mobilité laryngée, rigidité thoracique, perte d'élasticité de la plèvre, affaiblissement des muscles respiratoires, *etc.*).

* la périodicité

La norme est située entre 5 et 7 périodes par seconde.

– Au-dessous de 5, la voix chevrote.

Les causes du chevrottement sont essentiellement la tension émotionnelle, la fatigue musculaire après des abus vocaux et la sénescence vocale. Sur le plan perceptif, le chevrottement fait penser à une voix qui serait lue par un magnétophone défilant deux fois plus lentement que la vitesse d'enregistrement.

– Au-dessus de 7, la voix est affectée d'un tremolo.

Le tremolo traduit généralement des tensions musculaires importantes dans la partie supérieure du tractus vocal qui se manifestent, dans les cas les plus graves, par un tremblement de la langue, de la mandibule et de la luette. Sur le plan perceptif, le tremolo fait penser à une voix diffusée par un magnétophone dont la vitesse de lecture serait le double de la vitesse d'enregistrement.

On le trouve chez des sujets hypertoniques dont l'appui du souffle est réalisé par une contraction exagérée de la musculature diaphragmatique, abdominale et pelvienne, chez les chanteurs qui présentent un "serrage" résultant d'une hypercontraction de la musculature pharyngale, chez ceux qui "poussent" parce qu'ils utilisent une pression subglottique inadaptée à la tâche vocale à accomplir (forçage vocal se manifestant essentiellement par un faciès vultueux et des jugulaires turgescentes), ou chez ceux qui ont des problèmes de gestion du souffle et qui vont puiser dans leurs réserves d'air pour terminer une phrase musicale (posture caractéristique : ventre en avant).

* l'irrégularité

L'irrégularité du vibrato (Pv erratique ou Av instable) est très souvent liée à un forçage vocal dû à une pression subglottique inadaptée, ou à un soutien défectueux résultant d'un manque de coordination entre le diaphragme et les muscles abdominaux (Scotto Di Carlo, 1991).

2.2.2.6. Fonctions

Outre son rôle de baromètre de la santé vocale, le vibrato a de nombreuses fonctions :

- il a tout d'abord une fonction esthétique indéniable. Un son émis sans vibrato est en effet désagréable à l'oreille car il paraît dur, mat, détimbré, inexpressif ;
- le vibrato permet de chanter moins juste. En effet, lorsque son amplitude atteint un demi-ton par exemple, cela signifie que le chanteur a une marge de sécurité d'un demi-ton à l'intérieur de laquelle il peut se permettre des variations de hauteur sans que les auditeurs s'en aperçoivent.

Selon Leipp (1984), le vibrato permet également de chanter moins fort :

« On sait qu'un son fixe met à contribution une cellule nerveuse particulière qui se fatigue et devient de moins en moins efficace. Avec le vibrato, chacune d'elles a le temps de récupérer (période réfractaire) et le son vibré paraît plus intense que le même son non vibré pour cette raison. »

- le vibrato sert enfin, toujours selon Leipp, à augmenter l'efficacité vocale en permettant à la voix d'échapper à l'effet de masque de l'orchestre.

« Sur un sonagramme qui transpose visuellement la réalité telle qu'elle est perçue, les instruments de l'orchestre apparaissent sous la forme d'un spectre de raies. La voix avec son vibrato émerge et se détache aisément de l'accompagnement orchestral. Le vibrato permet donc d'augmenter le rendement vocal à moindre frais. »

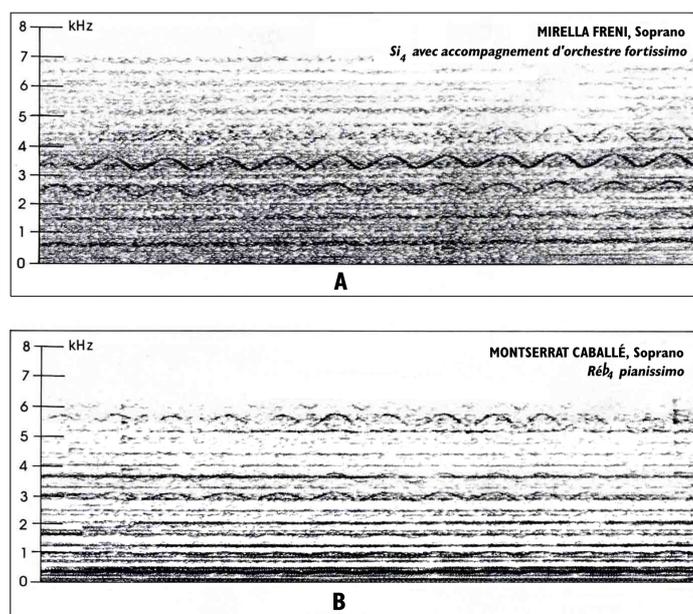


Figure 4
Rôle du vibrato dans l'efficacité vocale

C'est ce qu'illustre la figure 4. Le sonagramme A représente une note émise *fortissimo* par Mirella Freni sur un accompagnement orchestral *fortissimo*. On peut observer que le vibrato, grâce à sa forme sinusoïdale se détache très nettement du spectre de raies formé par les instruments, ce qui renforce l'effet du *Singing Formant* (SF, cf. §2.2.4.) et indique que la voix du soprano domine l'orchestre malgré l'intensité sonore très importante que celui-ci déploie. Le sonagramme B correspond à l'analyse de l'un des célèbres *pianissimi* de Montserrat Caballé sur accompagnement

orchestral *mezzo-forte*. Dans cet exemple précis, c'est non seulement grâce à son SF mais surtout à son vibrato que la voix de la cantatrice peut « passer » l'orchestre et être entendue par les spectateurs du dernier rang.

2.2.2.7. Perception

La perception du vibrato relève de mécanismes psychologiques extrêmement complexes qui n'ont pas encore tous été élucidés. On peut se référer à la perception visuelle pour essayer de comprendre ce phénomène.

« Une succession d'images défilant à une vitesse supérieure à la persistance de l'image sur la rétine, crée l'illusion du mouvement, l'illusion d'une image unique en mouvement et non d'une succession d'images. C'est le principe du cinéma qui repose sur le fait que l'œil ne peut saisir séparément des impressions lumineuses qui se succèdent à des intervalles supérieurs à 1/5 de seconde (rémanence rétinienne). Il se produit la même chose pour l'oreille qui ne peut percevoir séparément des intervalles supérieurs à 1/7 de seconde (rémanence cochléaire). Si la vitesse à laquelle se succèdent les modulations de hauteur ou d'intensité du vibrato est supérieure à la persistance auditive, l'oreille aura l'illusion d'un son unique en mouvement et non d'une succession de sons. » (Leipp, 1984).

D'autres facteurs interviennent dans la perception du vibrato de fréquence et en particulier l'amplitude. Plus elle est importante, plus l'oreille a des difficultés pour opérer un choix. Cette remarque s'applique aux sons vibrés isolés mais dans la pratique, c'est soit le contexte musical, soit l'accompagnement instrumental qui conditionnent l'auditeur à entendre la bonne hauteur.

Pour essayer de définir le rôle du contexte musical sur la perception du son vibré, nous avons réalisé, il y a quelques années, une expérience qui consiste à faire entendre un son vibré (dont on connaît avec exactitude les valeurs extrêmes) immédiatement après un son blanc, c'est-à-dire un son non vibré, dont la valeur est égale d'abord à la fréquence maximale du son vibré puis à sa fréquence minimale. Si l'on demande aux auditeurs de comparer le premier son blanc (SB1) dont la valeur est égale à la fréquence maximale du son vibré avec le son vibré (SV), ils les trouvent identiques (cf. fig. 5).

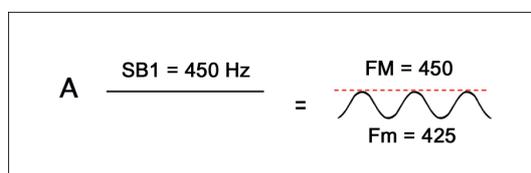


Figure 5
Rôle du contexte musical sur la perception d'un son vibré
Comparaison de SB1 (FM = 450 Hz) + SV

De même si on leur fait comparer le deuxième son blanc (SB2) (dont la hauteur est égale à la fréquence minimale du son vibré) avec le son vibré, ils estiment qu'ils sont identiques (cf. fig. 6).

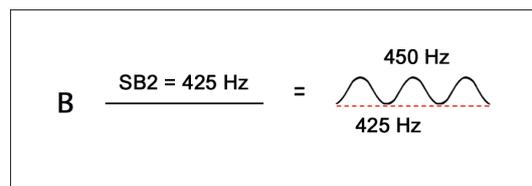


Figure 6
Comparaison de SB2 ($F_m = 425 \text{ Hz}$) + SV

En revanche, si on leur demande de comparer la première paire SB1 + SV et la deuxième paire SB2 + SV, ils jugent la deuxième paire plus basse que la première, car leur oreille a été conditionnée par la hauteur du son blanc qui précède le son vibré de chaque paire (cf. fig. 7).

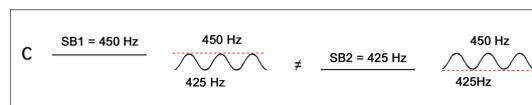


Figure 7
Comparaison de SB1 + SV et SB2 + SV

La conclusion que l'on peut tirer de cette expérience, est que lorsqu'on entend un son vibré, l'attention peut se fixer soit sur sa fréquence maximale soit sur sa fréquence minimale. La loi dont dépend ce phénomène est comparable à celle qui régit les phénomènes de perception visuelle dans les cas de figures ambiguës où, selon que l'attention se fixe sur la figure ou sur le fond, on voit apparaître des dessins différents (Cubes de Necker, Test des profils et vase).

2.2.3. Le trille

2.2.3.1. Définition

Battement rapide et prolongé de deux notes contiguës sur un intervalle n'excédant pas un ton.

2.2.3.2. Caractéristiques et dysfonctionnements

C'est en fait un vibrato exagéré dont l'exécution nécessite une relaxation importante de l'appareil vocal. Aux États-Unis, les professeurs de chant l'utilisent d'ailleurs au tout début de l'apprentissage, pour corriger la constriction pharyngale des élèves débutants (« serrage »), le but étant de leur apprendre à relâcher le contrôle plutôt que de le leur imposer en exigeant une exécution précise de cet ornement.

Un trille doit être préparé de manière à ce que les auditeurs n'aient pas l'impression que le chanteur se met subitement à « chevroter » ou à « bêler ».

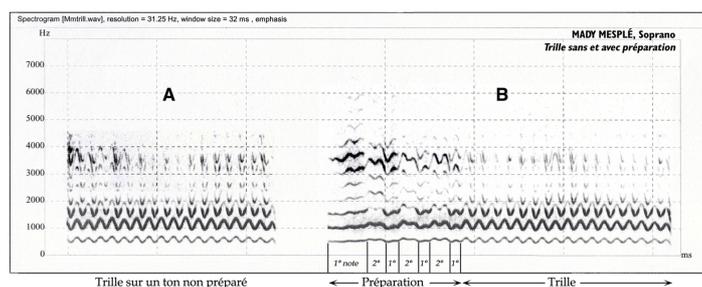


Figure 8
Exemple de trilles sur un ton avec (B) et sans (A) préparation

Pour être perçu comme un ornement et non comme un vibrato pathologique (A), le chanteur doit préparer son trille en faisant entendre distinctement les deux notes qui le composent (B) (cf. fig. 8).

2.2.4. Le *Singing Formant*

2.2.4.1. Caractéristiques

Outre les formants qui caractérisent le timbre des différentes voyelles, les chanteurs possèdent un formant supplémentaire découvert par Bartholomew en 1934 dont les travaux ont été repris par Winckel en 1956, par Husson en 1960, puis par Vennard en 1964 et enfin par Sundberg en 1972. Ce « formant du chanteur » baptisé *Shimmer* puis *High Formant* par Bartholomew, *Ring* par Winckel et Vennard, « Formant extra-vocalique » par Husson et *Singing Formant* par Sundberg, a conservé ce nom dans les pays européens, mais continue à s'appeler *Ring* aux États-Unis, dans les milieux professionnels du chant.

Le *Singing Formant* est situé aux alentours de 2000-3000 Hz pour les voix masculines et de 3000-4000 Hz pour les voix féminines. Sataloff (1992) a établi la hauteur moyenne du *Singing Formant* (SF) pour chaque catégorie vocale :

- Soprano léger : 3200 Hz
- Soprano : 3100 Hz
- Mezzo-soprano : 3000 Hz
- Contralto : 2900 Hz
- Ténor : 2800 Hz
- Baryton : 2600 Hz
- Basse : 2400 Hz

Certains auteurs (Cleveland, 1977 ; Dmitriev & Kiselev, 1979 ; Berndtsson & Sundberg, 1994) ont pensé que la hauteur du *Singing Formant* pourrait constituer un critère de classification vocale (cf. fig. 9). Compte tenu de l'intérêt que présenterait une méthode scientifique permettant de classer sans erreur la voix des élèves de chant, on comprend que la piste relative à la fréquence du SF ait pu susciter l'enthousiasme des spécialistes. Malheureusement, elle ne résiste pas à l'examen, en raison des fluctuations de la valeur centrale du SF à l'intérieur d'une même catégorie vocale qui la rendent peu fiable et du fait que les élèves de chant ne possèdent pas de SF au cours de leurs premières années d'étude, précisément pendant la période où il est impératif de pouvoir les classer correctement.

On attribue le SF dont la fréquence est très élevée à l'amplification d'une cavité de résonance de taille réduite, constituée par les sinus piriformes, deux petites gouttières faisant penser à des poires renversées (d'où leur nom), situées de part et d'autre de la partie inféro-postérieure du larynx et dont la fonction est de collecter le bol alimentaire pour le diriger vers l'entrée de l'œsophage.

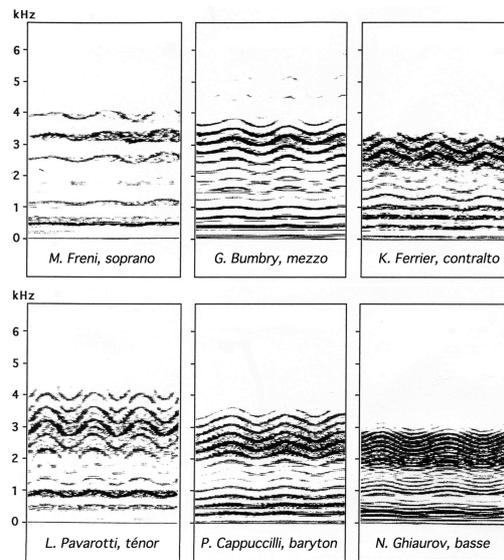


Figure 9
Hauteur du Singing Formant pour les principales catégories vocales

2.2.4.2. Fonctions

Le *Singing Formant* est responsable de la portée de la voix. La région spectrale située entre 2000 et 5000 Hz détermine la portée d'un son parce qu'elle se trouve au-delà de la zone d'intensité

maximale des différents bruits qui constituent notre environnement sonore et qu'elle correspond à la bande de fréquences où l'acuité auditive est optimale.

2.2.4.3. Présence du SF

On ne trouve le SF que dans les voix travaillées : celle des chanteurs d'opéra et celles des comédiens lorsqu'ils utilisent la voix projetée. Un renforcement d'harmoniques entre 3000 et 5000 Hz est également présent dans le chant du coq, qui, comme chacun le sait, porte très loin ou dans le spectre acoustique des instruments à longue portée sonore comme le clairon ou la trompette que l'on utilisait sur les champs de bataille parce qu'ils couvraient facilement le fracas des combats.

Le SF est toujours présent dans une voix cultivée, quelle que soit la voyelle utilisée, la fréquence ou l'intensité émises. Il permet au chanteur d'échapper à l'effet de masque de l'orchestre dont l'énergie sonore maximale est située aux alentours de 450 Hz.

Chez les chanteurs débutants, le SF est inexistant au début des études, puis instable et son existence dépend en grande partie de la structure acoustique de la voyelle chantée. D'où l'intérêt du test « ia » qui joue sur l'opposition voyelle diffuse/voyelle compacte et qui permet de contrôler objectivement la projection vocale des élèves en vérifiant si le SF est acquis ou en voie d'acquisition, lorsque l'éclat qu'il confère à la voix, (ce que Husson appelait « le mordant »), n'est pas très net sur le plan perceptif. Il arrive en effet que les étudiants avancés donnent l'impression d'avoir une bonne projection vocale et qu'à l'occasion d'une prestation avec orchestre, leurs professeurs découvrent qu'ils sont « couverts » par celui-ci.

Dans le test « ia », on fait chanter la séquence [ia] (et non [ja]) d'une seule émission de voix sur une note du médium. Chez les débutants, on observe la structure formantique de ces deux voyelles, telle qu'elle apparaît en voix parlée, avec ce qui semble être une ébauche de SF sur le [i] mais n'est en réalité que son second formant situé aux alentours de 2500 Hz, qui va évidemment disparaître sur le [a] puisqu'il s'agit d'une voyelle compacte. Chez les étudiants avancés et les chanteurs confirmés, le SF est présent sur les deux voyelles. Afin d'aider leurs élèves à l'acquérir, les professeurs leur demandent de chanter le [i] et le [a] « à la même place » ou « dans le même trou » (*cf.* fig. 10).

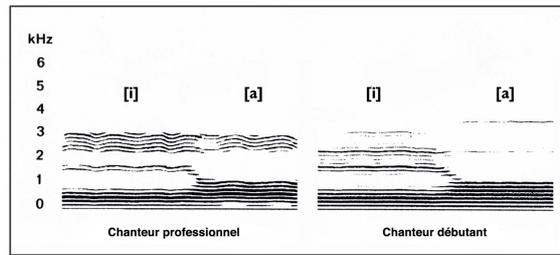


Figure 10

Test "ia" chez un chanteur professionnel et un chanteur débutant

2.2.4.4. Portée et intensité

Il est essentiel de faire comprendre aux élèves de chant la différence entre portée et intensité de la voix, car ils ont tendance à confondre ces deux notions, or il est important qu'ils puissent concevoir qu'elles ne sont pas indissociables comme ils le croient. Sans avoir recours à des explications compliquées, il suffit de leur donner l'exemple de Montserrat Caballé, célèbre pour ses *pianissimi*, dont l'intensité est faible puisqu'elle correspond à peu près à celle d'une conversation animée, mais qui s'entendent jusqu'au dernier rang d'une salle d'opéra sans être couverts par l'orchestre, grâce à leur portée qui se manifeste sur le plan acoustique par la présence du SF (*cf.* fig. 4B).

2.3. Extinction

2.3.1. Généralités

2.3.1.1. Définition

« Dans la terminologie professionnelle du chant, on appelle extinction des sons la façon dont on utilise la musculature glottique et le souffle, conjointement, pour produire les dernières périodes d'une voyelle émise sur une fréquence donnée. » (Husson, 1962).

2.3.1.2. Types d'extinction et causes des dysfonctionnements

Comme pour les attaques, il existe trois types d'extinction :

- l'extinction douce caractérisée par une chute progressive d'intensité, qui est la plus courante. Cette chute d'intensité est généralement obtenue par une ouverture vélopharyngée progressive qui permet au son d'être amorti en partie par la cavité nasale.
- l'extinction soufflée qui, comme son nom l'indique, est accompagnée de souffle. Lorsqu'elle n'est pas pathologique, elle est utilisée à des fins expressives pour exprimer la tristesse ou la résignation, par exemple.
- l'extinction en coup de glotte qui peut être également utilisée à des fins expressives, lors de la manifestation de sentiments violents comme la colère. En réalité, il ne s'agit pas véritablement d'un coup de glotte mais d'une

extinction douce glottalisée qui ne met pas en danger les cordes vocales et ne compromet pas la justesse du son. La véritable extinction en coup de glotte, tout comme l'attaque en coup de glotte, est le signe d'un dysfonctionnement. Elle indique que le chanteur « pousse » car il utilise une pression subglottique trop élevée. Le professeur de chant ou l'orthophoniste doivent alors intervenir rapidement pour supprimer ce forçage vocal afin d'éviter au chanteur les nodules qui ne manqueront pas de se former s'il n'est pas corrigé à temps.

3. Passage d'un son à un autre

3.1. Les sauts d'intervalles

3.1.1. Définition

On parle de saut d'intervalle pour désigner le passage d'une note à une autre note, séparée de la première par un intervalle musical de deux ou plusieurs degrés. Le nom de l'intervalle musical qui caractérise ces sauts indique le nombre de notes qui sépare la note de départ de celle d'arrivée. Un saut de tierce, par exemple, indique que cet intervalle musical comporte trois degrés, c'est-à-dire trois notes successives de la gamme : do (ré) mi. Un saut de quarte comporte quatre degrés (do-fa) ; un saut de quinte, cinq degrés (do-sol) ; un saut de sixte, six degrés (do-la) ; un saut de septième, sept degrés (do-si) ; un saut d'octave, huit degrés (do-do à l'octave). Mais les intervalles peuvent dépasser les limites de l'octave. On parle alors de neuvième, de dixième, de onzième, *etc.*

3.1.2. Causes des dysfonctionnements

Plus l'écart entre les deux notes d'un intervalle musical est important, plus il nécessite un ajustement précis des organes phonatoires, car la note de départ et la note d'arrivée doivent non seulement être justes mais avoir le même timbre, autrement dit la même qualité de résonance. Comme nous allons le voir pour le *legato*, le *Singing Formant* est ici encore un facteur important de cohésion. Chez les grands chanteurs, le spectre acoustique des sauts d'intervalles met en évidence, pour les deux notes, la présence d'un SF ainsi qu'un renforcement similaire des harmoniques, autrement dit, un ajustement résonantiel identique à celui que l'on trouve sur une note répétée ou entre deux notes dont l'intervalle musical est réduit (do-do# par exemple).

Si, dans l'ensemble, les sauts d'intervalles descendants ne leur posent pas des problèmes insurmontables, les élèves éprouvent en revanche de grandes difficultés à réaliser les sauts d'intervalles ascendants et en particulier les sauts de sixte, de septième et d'octave. Pour les aider, les professeurs de chant leur demandent de positionner leurs organes phonatoires comme s'ils allaient émettre la note la plus aiguë et d'attaquer la note grave en conservant ce même « moule »

pour la chanter à la même « place ». C'est un conseil judicieux dans la mesure où il est plus économique, en termes de rendement, de préparer l'effort vocal nécessaire à l'émission de la note la plus aiguë avant d'attaquer l'intervalle. En effet, la note grave ne sera pas affectée par cette configuration du tractus vocal et la note aiguë en bénéficiera puisque le chanteur n'aura pas à la rechercher pendant la transition de la première à la seconde note. Cela présente en outre l'avantage de donner une homogénéité de timbre aux deux notes du saut puisqu'elles auront la même qualité de résonance.

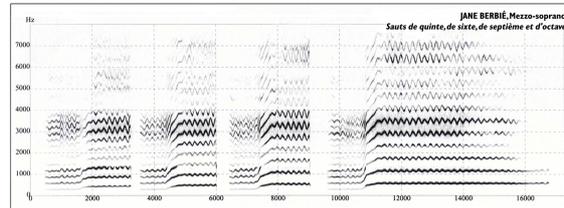


Figure 11
Exemples de sauts d'intervalles ascendants

La figure 11 illustre parfaitement cette technique résonnentielle. Les sauts de quinte, de sixte, de septième et d'octave ascendants, réalisés par une mezzo-soprano professionnelle (Jane Berbié) sur la voyelle [a], révèlent la présence constante du *Singing Formant*, pour chacune des deux notes qui constitue le saut, ce qui renforce la cohésion entre le son grave et le son aigu et confère à l'ensemble un legato d'une grande qualité.

3.1.3. Exemple et interprétation d'un cas particulier

On trouve dans le répertoire lyrique un saut d'intervalle particulièrement redouté des sopranos, c'est le saut de septième ascendant entre les deux dernières notes de la *Berceuse* de Lakmé « *Sous le ciel tout étoilé* ». Il engendre parfois, même chez les plus grandes chanteuses, une phonoépischésis (interruption momentanée de la vibration des cordes vocales) au moment de la transition entre le ré₄ et le do₅ parce qu'il est situé sur leur zone de passage (entre le médium et l'aigu) et qu'il culmine sur un contre-ut (do₅) écrit *piano*, ce qui représente une accumulation redoutable de difficultés.

Du point de vue aérodynamique, le fait d'émettre le contre-ut *piano*, nécessite une diminution de la pression subglottique. Le tractus vocal étant largement ouvert, la pression supraglottique est faible, ce qui entraîne très rapidement une égalisation des pressions au-dessus et au-dessous de la glotte qui va faire chuter brusquement le débit d'air transglottique et provoquer une diminution de l'effet Bernouilli, principal moteur de la vibration des cordes vocales. Par conséquent, plus le soprano

diminue la pression subglottique pour réaliser un contre-ut *piano*, plus le débit d'air transglottique décroît et plus l'effet Bernoulli est entravé, ce qui finit par aboutir à l'arrêt des vibrations laryngées. Pour maintenir la vibration des cordes vocales et éviter de « craquer » le contre-ut, il est nécessaire de rétablir une pression différentielle entre les cavités sub- et supra-glottiques. Il suffit pour cela, soit d'accroître la pression subglottique (en chantant moins *piano*), soit de réduire la pression supra-glottique (en augmentant l'ouverture vélo-pharyngée). On peut également utiliser le mécanisme de compensation décrit par Halle et Stevens (1967) pour expliquer un phénomène phonétique complexe mais qui peut s'appliquer à ce cas spécifique. Selon ces auteurs, les cordes vocales doivent s'ajuster de manière à augmenter la durée de leur phase d'ouverture pour permettre une diminution de la résistance glottique et favoriser le maintien de leurs vibrations, malgré la réduction du débit d'air transglottique. Si cet ajustement extrêmement subtil n'est pas réalisé assez rapidement, les cordes vocales s'arrêtent de vibrer.

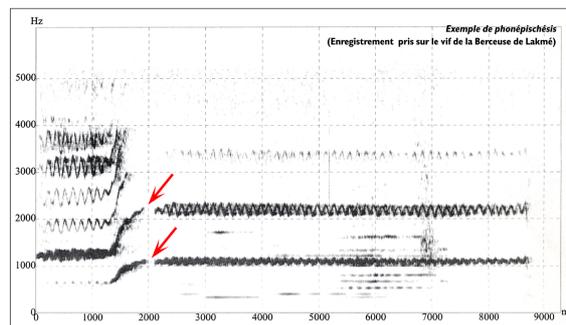


Figure 12
Exemple de phonoépischésis

Un enregistrement pris sur le vif lors d'une représentation de *Lakmé* a permis de capter cette phonoépischésis, sur le saut de septième ascendant après la transition entre le ré₄ et le do₅. Sa durée (157 millisecondes) est suffisante pour permettre aux spectateurs de percevoir très nettement un silence entre les deux notes du saut (*cf.* fig. 12).

3.2. Le legato

3.2.1. Définition

Le legato est le passage d'un son à un autre sans interruption de la ligne mélodique ni altération de l'intensité.

3.2.2. Causes des dysfonctionnements

Ces conditions se trouvent facilement réunies lorsque le support phonémique n'est constitué que par des voyelles comme c'est le cas dans les vocalises. Dans un texte chanté, les consonnes perturbent profondément le legato en introduisant dans le continuum sonore des zéros acoustiques (interruptions) qui rompent la continuité de la ligne mélodique et altèrent la régularité de la courbe d'intensité. Le chanteur ne peut maîtriser ces éléments parasites que sont les consonnes qu'en réduisant leur durée et leur force articulatoire, ce qui revient à sous-articuler.

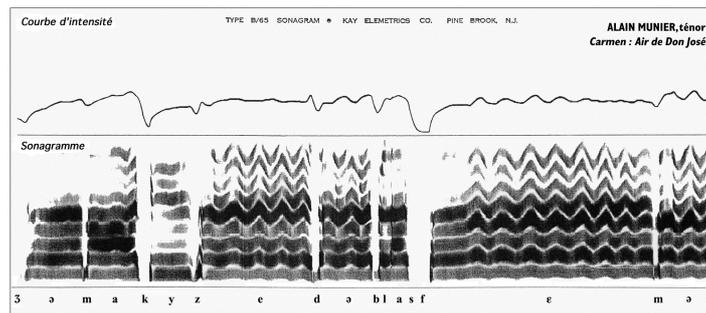


Figure 13

Influence des consonnes sur la qualité du legato

Sur la figure 13, le sonagramme de la séquence « Je m'accusais de blasphème » extraite de *Carmen* et chantée par un ténor professionnel (Alain Munier), donne un excellent exemple des interruptions que provoquent les consonnes dans le continuum sonore ainsi que des altérations du legato, en dépit du soin apporté par le chanteur pour les minimiser.

3.2.3. Le legato des grands chanteurs

Selon Reid (1995), le legato des grands chanteurs reflète un ajustement résonantiel précis et constant sur toute la tessiture qui résulte d'un double système de résonance :

- le premier concerne le laryngo-pharynx que le chanteur accorde de manière

à renforcer les fréquences responsables de la portée de la voix (accommodations phonatoires) ;

- le second concerne le bucco-pharynx que le chanteur accorde de manière à renforcer les zones formantiques spécifiques à chaque voyelle (accommodations articulatoires). Dans ce type de legato, les organes articulatoires seraient, selon lui, peu impliqués dans l'amplification du son, ce qui leur laisserait toute liberté pour l'articulation phonémique.

La difficulté à chanter avec un legato résonantiel est due à l'incapacité de coordonner avec précision les deux systèmes de résonance. Les contraintes phonatoires et les contraintes articulatoires étant difficilement compatibles, on comprend aisément que peu de chanteurs professionnels parviennent à trouver le secret de cet ajustement résonantiel extrêmement délicat.

On trouvera un exemple de legato résonantiel sur la figure 14 avec l'*Air de Sarastro* extrait de *La Flûte Enchantée*, chanté en français par une basse professionnelle (Gérard Serkoyan). On remarquera la régularité du *Singing Formant* situé entre 2000 et 3000 Hz. Cet ajustement résonantiel précis et constant permet d'obtenir un legato d'une grande qualité.

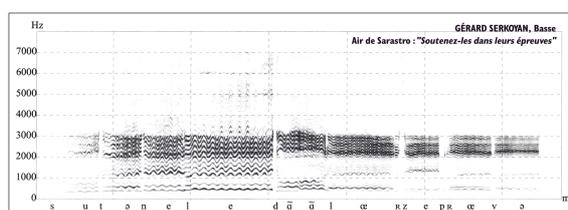


Figure 14
Exemple de legato résonantiel

3.3. Le Staccato

3.3.1. Définition

Le staccato est un ornement qui consiste à chanter une succession de notes brèves, détachées les unes des autres, avec rapidité et précision. Les notes émises de la sorte sont dites « piquées » et appelées familièrement « cocottes » par les artistes lyriques et les professeurs de chant.

La vitesse du staccato varie entre 6 et 8 notes par seconde selon les chanteurs. Quelques artistes dont l'agilité vocale est exceptionnelle parviennent à atteindre 9, voire 10 notes piquées par seconde.

Le sonagramme de la figure 15 présente une série de six notes piquées avec leurs spectres de sons blancs, à l'exception de la dernière qui laisse apparaître un vibrato de fréquence parce qu'elle est tenue. Cet exemple a été choisi pour sa lisibilité, due au fait que les staccati sont chantés à une vitesse

moyenne (3,8 notes par seconde). Dans les vocalises pour lesquelles le tempo est très accéléré, cette soprano professionnelle (Mady Mesplé) peut émettre 10 notes piquées par seconde.

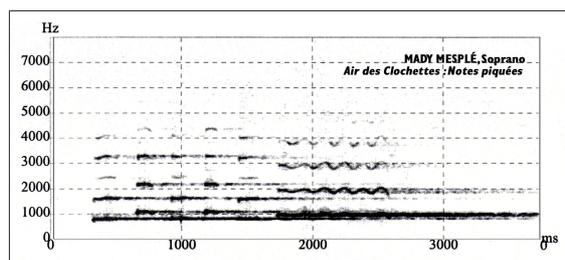


Figure 15
Exemple de staccato

3.3.2. Cause des dysfonctionnements

Les notes piquées manquent de légèreté chez les élèves qui utilisent généralement leurs abdominaux pour les exécuter. Ainsi que l'explique Cornut (1959) pour les sons tenus, liés ou émis avec une forte intensité,

« le chanteur d'opéra utilisera les abdominaux qui sont des muscles longs ne permettant pas de mouvements rapides mais indispensables pour développer une force expiratoire importante. En revanche, les notes piquées vont nécessiter l'utilisation des intercostaux, muscles courts permettant des mouvements rapides et précis mais incapables à eux seuls de produire la pression expiratoire indispensable au soutien d'un son tenu ou forte. »

Reid (1995) estime que, dans la mesure où les mouvements musculaires impliqués dans le staccato doivent être exécutés avec une grande rapidité, il est essentiel de compter sur des réponses réflexes plutôt que sur une activité musculaire donnée.

« Par conséquent, les notes piquées ne devraient jamais être abordées avec une série de contractions diaphragmatiques car le diaphragme est dépourvu de terminaisons nerveuses proprioceptives et ne peut être contrôlé volontairement. Quant aux abdominaux, ils sont trop lents pour coordonner les ouvertures et fermetures rapides de l'espace glottique requis par les notes successives. Les cordes vocales ainsi que le laryngo- et l'oro-pharynx se meuvent avec rapidité et précision d'un état de relaxation à un ajustement résonantiel de type pharyngal. L'exécution correcte du staccato nécessite une technique à dominance de voix de tête résonant à l'intérieur d'un ajustement laryngé stabilisé. En effet, il est impossible de chanter staccato sans utiliser le larynx comme résonateur. »

Le problème que l'on rencontre le plus souvent à propos du staccato est celui de la justesse qui est très difficile à réaliser. Ceci s'explique par le fait que les notes piquées ne sont rien d'autre que des sons blancs très brefs. Or, les sons blancs posent des problèmes de justesse. Ils sont généralement

un peu bas, parce que les chanteurs sont habitués à émettre des sons vibrés qui oscillent plutôt en dessous de la note-cible qu'en dessus. Il faut une excellente oreille et une solide technique pour chanter un passage staccato sans détoner.

Leanderson *et al.* (1986) donnent une explication aérodynamique intéressante des problèmes de justesse occasionnés par les staccati, bien qu'elle ne rende pas compte de ceux provoqués par les sons blancs.

« Dans le staccato, les cordes vocales doivent ouvrir la glotte pendant les silences. Pour que cela soit possible sans gaspiller d'air, la pression subglottique doit être réduite à zéro pendant les silences. Le chanteur doit donc faire chuter jusqu'à zéro la valeur-cible de la pression subglottique requise pour la hauteur de la note qu'il chante, puis la faire monter jusqu'à une valeur-cible différente pour la note suivante de l'exercice. L'incapacité à atteindre les pressions-cibles se manifeste sous forme d'erreur de justesse. »

4. Conclusion

Les problèmes de justesse ont été évoqués tout au long de cet exposé. Mise en danger par certains types d'attaque ou d'extinction, par certaines catégories de consonnes, par certains ornements, par une pression subglottique inadaptée, par un vibrato trop ample ou la réalisation mal contrôlée d'un son blanc, la justesse demeure l'une des préoccupations majeure et permanente des chanteurs qui mettent en place différentes stratégies afin de ne jamais prendre le risque de la compromettre. L'utilisation des attaques douces, la sous-articulation des consonnes, la régulation très fine de la pression subglottique, le contrôle de la qualité du vibrato et de l'émission des sons blancs sont les parades le plus fréquemment utilisées dans le but de la préserver.

5. Bibliographie

- BARTHOLOMEW, W. (1934) A Physical Definition of Good Voice Quality in Male Voice, *Journal of the Acoustical Society of America*, 6, p. 25-33.
- BERNDTSSON, G. & SUNDBERG, J. (1994) Perceptual Significance of the Center Frequency of Singer's Formant, *STL-QPSR*, 35, 4, p. 95-105.
- BUNCH, M. (1982) *Dynamics of the Singing Voice*, Wien-New York: Springer-Verlag, 156 p.
- CLEVELAND, T.S. (1977) Acoustic Properties of Voice Timbre Types and their Influence on Voice Classification, *Journal of the Acoustical Society of America*, 61, 6, p. 1622-29.
- CORNUT, G. (1959) *La mécanique respiratoire dans la parole et le chant*, Paris : PUF, Cahiers d'Audiophonologie, 1, 116 p.
- CORNUT, G. (1983) *La voix*, Collection Que Sais-je ?, n° 627, Paris : PUF, 127 p.
- DI CRISTO, A. (1985) *De la microprosodie à l'intonosyntaxe*, Publications de l'Université de Provence, tome I : 854 p., tome II : 472 p.

- DMITRIEV, L. & KISELEV, A. (1979) Relationship between the Formant Structure of Different Types of Singing Voices and the Dimension of the Supraglottal Cavities, *Folia Phoniatrica*, 31, p. 238-241.
- HALLE, M. & STEVENS, K. (1967) On the Mechanisms of Glottal Vibration for Vowels and Consonants, *QPR (MIT)*, 85, p. 267-276.
- HIRANO, M. (1989) Objective Evaluation of the Human Voice, *Folia Phoniatrica*, 41, p. 89-144.
- HUSSON, R. (1960) *La voix chantée*. Paris : Gauthier-Villars, 205 p.
- HUSSON, R. (1962) *Physiologie de la phonation*, Paris : Masson, 590 p.
- LEANDERSON, R. ; SUNDBERG, J. & VON EULER, C. (1986) Breathing Muscle Activity and Subglottal Pressure Dynamics in Speech and Singing, *JTL-QPSR*, 17, 4, p. 57-64.
- LEIPP, E. (1984) *Acoustique et Musique*, Paris : Masson, 376 p.
- REID, C. (1995) *A dictionary of Vocal Terminology*, Huntsville, Tx.: Recital Publications, 457 p.
- SATALOFF, R.T. (1992) The Human Voice, *Scientific American*, dec., p. 64-72.
- SCOTTO DI CARLO, N. (1975) Mécanisme des attaques dans le chant, *Mélanges Georges Mounin, C.L.O.S.*, 5/6, p. 365-371.
- SCOTTO DI CARLO, N. (1991) La voix chantée, *La Recherche*, XXIII, 235, p. 1016-1025.
- SCOTTO DI CARLO, N. (2007) Effect of Multi-factorial Constraints on Opera Singing Intelligibility, *Journal of Singing*, 63, 4, p. 443-455 (Part I); *Journal of Singing*, 63, 5, p. 559-567 (Part II).
- SHILLING, R. (1922) Movements of the Diaphragm in Speaking and Singing, *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 28, p. 1551-1552.
- SHIPP, T. ; LEANDERSON, R. & SUNDBERG, J. (1980) Some Acoustical Characteristics of Vocal Vibrato, *Journal of Research in Singing*, 4, 1, p. 18-25.
- SUNDBERG, J. (1972) Production and Function of the « Singing Formant », *Report of the XIth Congress of Acoustics*, Copenhagen, 2, p. 679-686.
- SUNDBERG, J. (1974) Articulatory Interpretation of the « Singing Formant », *Journal of the Acoustical Society of America*, 55, p. 838-844.
- VENNARD, W. (1964) *Singing, the mechanism and the technique*, New York: Carl Fischer, 275 p.
- WINCKEL, F. (1953) Physikalische Kriterien für Objektive Stimmbeurteilung, *Folia Phoniatrica*, 5, p. 232-252.
- WINCKEL, F. (1956) *Stimme und Gesang*, Berlin : Wolfgang Meyer Verlag, 135 p.