

ETUDE, PAR LA SYNTHÈSE, DE LA PERCEPTION
DU VIBRATO VOCAL DANS LES TRANSITIONS DE NOTES

VIBRATO DURING NOTE TRANSITIONS

Christophe D'ALESSANDRO
& Michèle CASTELLENGO

- PARIS -

L.I.M.S.I. - C.N.R.S. - BP 133 - 91403 ORSAY Cedex
LAM - URA 868 - CNRS - Tour 66 - Université Paris VI - 4 place Jussieu -
75005 PARIS

Etude, par la synthèse, de la perception
du vibrato vocal dans les transitions de notes.

Résumé

La perception du vibrato lors de l'émission de notes courtes, ou durant la transition entre notes a été relativement peu étudiée. Une première partie de cet article analyse différentes situations rencontrées dans des extraits musicaux : transitions courtes entre notes liées, transitions longues entre notes liées. La seconde partie propose des tests perceptifs pour valider les propositions avancées lors des analyses précédentes. Les conclusions discutent de :

1. L'importance de la synchronisation entre phase du vibrato et transition
2. La perception en notes discrètes du continuum de la fréquence fondamentale par l'introduction du vibrato
3. La perception des cycles de vibrato en fonction du contexte musical

Mots Clés

Vibrato - Synthèse de voix chantée - Perception de hauteur

Vibrato during note transitions

Abstract

Pitch perception for short vibrated notes, or during vibrated note transitions, has been relatively little studied. In the first part of this paper, several situations encountered in actual musical performances are analysed : short duration transitions between tied notes, long duration transitions between tied notes. Some perceptual tests are proposed in the second part in order to study the phenomena observed in the first part. The conclusion discusses :

1. the relevance of the synchronisation of the vibrato and the note transition
2. the perception, as discrete notes, of the fundamental frequency continuum by introduction of vibrato
3. the perception of the vibrato cycles according to the musical context.

Keys-Words

Vibrato - singing voice synthesis - pitch perception

ETUDES, PAR LA SYNTHÈSE,
DE LA PERCEPTION DU VIBRATO VOCAL DANS LES TRANSITIONS
DE NOTES.

1. INTRODUCTION

Le vibrato est un ornement répandu dans la musique classique occidentale, en particulier dans la musique vocale, et par la suite dans la musique destinée aux instruments susceptibles de le produire : bois, cuivre, cordes, tremblant doux de l'orgue, etc..., . Le vibrato consiste en une fluctuation périodique de la fréquence fondamentale, de l'intensité, et du timbre du son. Certains instruments privilégient l'un ou l'autre de ces aspects du vibrato : les "jeux ondulants" de l'orgue par exemple produisent un vibrato d'amplitude uniquement, obtenu par les battements entre deux tuyaux légèrement désaccordés, au contraire le vibrato des instruments à cordes frottées est presque exclusivement un vibrato de fréquence fondamentale, obtenu par un léger déplacement du doigt sur la touche. Dans le cas du chant, la fluctuation de fréquence fondamentale semble dominante dans la perception du vibrato, par rapport à la fluctuation d'intensité ou de timbre : dans les exemples étudiés ici, tant synthétique qu'extraits d'enregistrements musicaux, seul cet aspect du vibrato sera considéré.

L'analyse acoustique de séquences sonores produites par des chanteurs soulève de nombreuses questions. L'examen des figures 1 à 5 (discuté de façon plus détaillée à la section suivante), donne une idée des problèmes rencontrés. La fréquence fondamentale, apparente grâce à l'évolution des harmoniques par analyse spectrographique en bande étroite, est en évolution constante. Il est visuellement extrêmement difficile, voire impossible, de prévoir quelles hauteurs tonales sont perçues, ou d'isoler les notes. Auditivement par contre, la justesse et la précision rythmique sont évidentes : les notes sont perçues et appréciées sans ambiguïté, malgré une excursion de la fréquence fondamentale qui peut-être importante (un demi-ton, ou même un ton). Les premières questions qui se posent sont donc : quelle hauteur tonale est perçue lors de l'émission d'une note courte, lorsque l'évolution de la fréquence fondamentale ne contient pas plusieurs cycles de vibrato, mais seulement une fraction de cycle ? Dans une succession de notes courtes vibrées, comment la perception isole-t-elle plusieurs notes dans le

continuum de la fréquence fondamentale? Au contraire, pourquoi une note unique est-elle perçue lorsque plusieurs cycles de vibrato accompagnent un changement de fréquence ? Quelles sont les hauteurs tonales de ces notes ? A quels instants sont-elles perçues ? Comment la qualité d'une transition est-elle affectée par la présence du vibrato ? Réciproquement, comment le vibrato est-il affecté par la mélodie qu'il orne ?

Ces interrogations sont apparues dès qu'il a été possible d'enregistrer l'évolution de la fréquence fondamentale : Seashore (3) note (pp 50) "the discovery of the astounding difference between the actual vibrato as it exists in the physical tone and the vibrato as it is heard in the musical situation" et pose (p 268) des questions qui restent d'actualité "What is the relation of rate and extend of pitch vibrato to long and short tones ?", "How does the pitch vibrato appear in attacks, releases, and portamenti ?". Sundberg (6), observe (p3) la contradiction entre le changement continu du fondamental et la perception discrète des notes "How is it that we perceive singing as a sequence of discrete pitches even through the fundamental frequency events do not form a pattern of discrete fundamental frequencies ?". La question de la coordination entre vibrato et transitions de notes est également discutée sur un exemple (pp 36-37). Vennard (7) (p 197), du point de vue de la pédagogie du chant, insiste sur la nécessité de cette coordination.

Plusieurs études ont été consacrées à la perception du vibrato, mais uniquement, à notre connaissance pour des notes de longue durée (4), (5). Sundberg (5), conclut à la perception de la moyenne obtenue par intégration de la courbe du fondamental en fonction du temps, avec une hypothétique constante temporelle pour rendre compte de la perception de notes courtes. Cette étude utilise des signaux vocaux synthétiques, et non des sons purs, et semble montrer que la hauteur tonale est appréciée avec plus de précision sur des sons complexes que sur des sons purs. La présence de vibrato ne semble pas diminuer de façon notable la précision du jugement sur la justesse des sons, et donc le vibrato n'est sûrement pas un moyen de réduire les contraintes sur la justesse de l'intonation. Shonle et Horan (4) concluent à la perception de la moyenne géométrique entre les valeurs extrêmes de la variation de fréquence. La forme du vibrato (sinusoïdale, triangulaire) et le timbre des stimuli utilisés (sons purs, signaux carrés) ne semblent pas influencer sur ce résultat. Ces études considèrent des stimuli comprenant un grand nombre (non spécifié) de cycles de vibrato, et ne tiennent pas compte de la perception du vibrato en fonction de la durée ou de l'évolution des notes émises. Cette situation est sensiblement éloignée de la réalité de la pratique musicale, et des études spécifiques sur la perception de notes de courtes durées, de transitions entre notes, etc..., en présence de vibrato, sont donc nécessaires. Il est notable que Seashore (3), avec des consignes d'écoute différentes distingue quatre sensations de hauteur différentes pour un même vibrato (p 46) : la hauteur moyenne, la limite supérieure, la limite inférieure, et une "hauteur pulsée"!

Cet article propose une étude détaillée des phénomènes présentés dans (1), il comporte deux parties. Dans la première partie une revue de différentes situations rencontrées dans la pratique du chant est développée : transitions entre notes courtes et longues liées, portando. Des exemples tirés d'enregistrements musicaux sont présentés, et discutés en fonction des observations rencontrées dans la littérature sur le chant et le vibrato. Ces observations ont conduit à synthétiser des exemples pour confirmer les hypothèses suggérées par la première partie, à

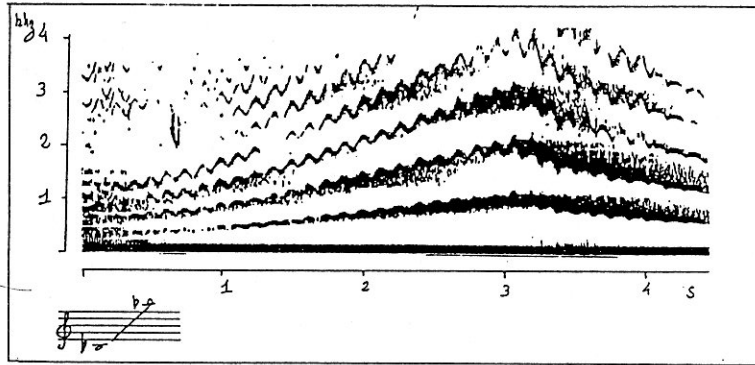


Figure 1. Gamme chromatique rapide, sur 2 octaves (Marylin Horne, "Air de Néode", extrait du "Siège de Corinthe" de Rossini).

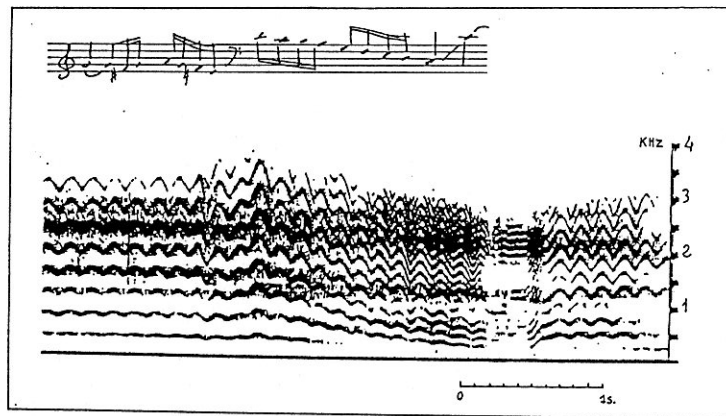


Figure 2. Gamme diatonique rapide (Ricardo Stracciari, "Cavatine de Figaro", extrait du "Barbier de Séville" de Rossini).

l'aide de tests de perception. Ces expériences font l'objet d'une seconde partie. Enfin, une conclusion propose des directions de recherche ouvertes par ces premiers résultats.

Quelques termes doivent être précisés. Vibrato signifie ici une fluctuation d'allure sinusoïdale de la fréquence fondamentale du son. La fréquence fondamentale correspond donc à la moyenne du vibrato, qui est effectivement atteinte pour une phase nulle (modulo π). La vitesse, ou fréquence du vibrato est la fréquence de cette sinusoïde, et la période du vibrato l'inverse de cette fréquence. L'amplitude du vibrato est la fluctuation maximum de la fréquence, autour de la valeur de la fréquence fondamentale du signal. L'arche supérieure correspond aux phases dont la période principale est comprise entre 0 et π l'arche inférieure à celles comprises entre π et 2π .

2. ETUDE D'EXEMPLES MUSICAUX

Des exemples tirés d'enregistrements musicaux permettent de mettre en lumière quelques problèmes posés par la perception du vibrato, tel qu'il est réalisé pratiquement, et non dans des conditions artificielles qui font abstraction de la durée des sons. Les exemples choisis sont tous représentatifs d'une exécution musicalement irréprochable, par des artistes possédant une maîtrise parfaite de leur instrument.

2.1. Notes courtes liées

Le vibrato est visible sur les figures suivantes en observant les harmoniques du signal vocal : l'amplitude du vibrato est proportionnelle au rang de l'harmonique, et donc bien plus apparente sur les harmoniques de rang élevé. Les premiers exemples sont des transitions liées et rapides (gamme et arpèges). La figure 1 représente l'analyse spectrographique d'une gamme chromatique ascendante de deux octaves chantée par Marilyn Horne. La figure 2 une gamme diatonique descendante chantée par Riccardo Stracciari. La régularité du vibrato est tout à fait remarquable sur ces exemples. On observe un cycle de vibrato pour chaque note. Les 24 notes ascendantes de l'exemple 1 donnent 24 cycles, les 12 notes de la gamme descendante de l'exemple 2 donnent 12 cycles, la dernière note de la gamme est longue, et n'est pas vibrée. Vennard remarque (7) (p197) : " a good singer sets the tempo in multiples of his vibrato". Si le tempo est imposé, un chanteur adaptera la vitesse de son vibrato afin de conserver toujours un nombre entier de cycles de vibrato par note. Vennard pose cette affirmation comme un principe pédagogique, et lors de l'apprentissage du chant de l'étudiant doit peu à peu arriver à régler la vitesse de son vibrato sur le texte musical en fonction du tempo. Un tel exemple se rencontre figure 3, ou dans un passage expressif la chanteuse marque un ralentissement en conservant un nombre entier de cycles par note (de 3 à 7 cycles). Sundberg (6) (p36) fait une remarque similaire. Cependant, il est hasardeux visuellement d'inférer la hauteur perçue, tant que la variation du fondamental est continue. Cet exemple semble montrer que pour les notes liées, "l'unité perceptive", c'est à dire la fraction de la courbe continue du fondamental

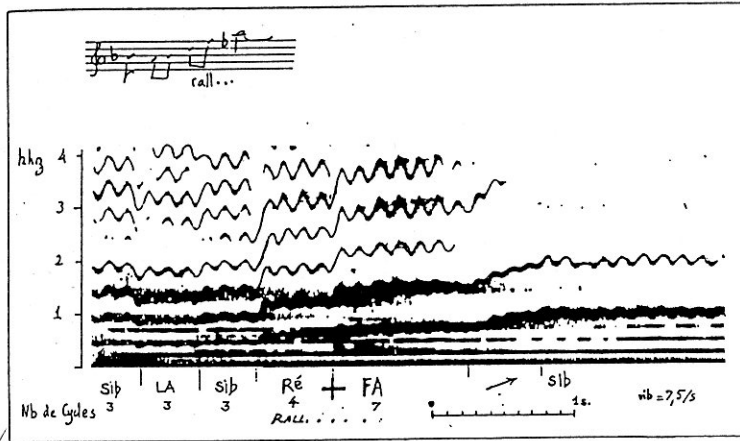


Figure 3. Intervalle de tierce (+), et nombre entier de cycles de vibrato par note (Mado Robin, "Mad Song", extrait du "Lucia de Lamermoor" de Donizetti).

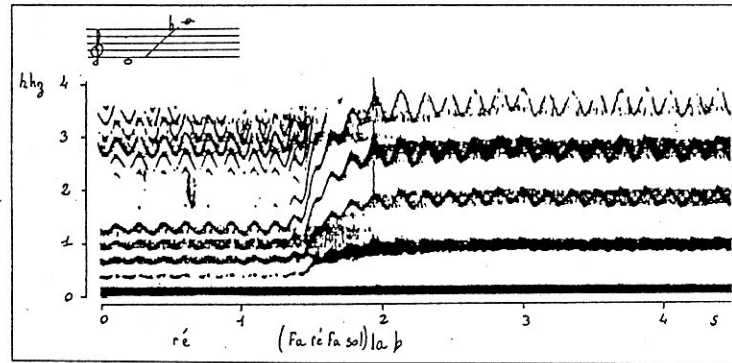


Figure 4. Portando comportant plusieurs cycles de vibrato (Marylin Horne, "Air de Néode", extrait du "Siège de Corinthe" de Rossini).

qui permet d'isoler une note, ou unité musicale discrète, peut-être aussi petite qu'un cycle de vibrato, soit environ 150 ms.

L'exemple 3 montre une transition montante rapide (tierce Ré-Fa) chantée par Mado Robin. On constate que la transition est effectuée en accord avec la phase du vibrato : une inflexion descendante au début de la transition, et une inflexion montante à la fin. Cette observation, appliquée à l'exemple précédent semble renforcer l'idée intuitive que les notes sont perçues grâce aux inflexions positives de la courbe du fondamental.

2.2 Transitions longues

Dans un but expressif, la transition entre deux notes peut-être assez longue, et se percevoir comme un portando. Si la transition longue est réalisée en présence du vibrato, plusieurs cycles peuvent se rencontrer pendant sa durée. Dans la mesure où le vibrato conserve une fréquence constante pendant la transition, ces cycles pourraient à priori être perçus comme des notes séparées, puisqu'il ne diffèrent pas de ceux rencontrés dans des gammes ou des arpèges rapides. Deux exemples illustrent ce propos. La figure 4, est un passage chanté par Marilyn Horne : une transition d'une octave et demi (Ré-Lab) s'effectue avec quatre cycles de vibrato intermédiaires. Une écoute attentive permet de discerner effectivement quatre "notes" intermédiaires : Fa Ré Fa Sol, qui appartiennent à l'accord de septième de dominante (Sib Ré Fa Lab) sous jacent au saut mélodique. L'interprète rend ainsi expressif le portando en l'intégrant dans le contexte harmonique de l'intervalle, et en utilisant au mieux les cycles de vibrato offerts par la durée de la transition. Un exemple de même nature se trouve dans un extrait chanté par Teresa Zylis-Gara, figure 5. Un cycle de vibrato est produit pendant la transition d'un intervalle de seconde majeure (Si-La). Si l'on porte attention à la transition (par exemple en ralentissant le défilement de l'enregistrement), une écoute attentive permet de percevoir une descente chromatique (Si-Sib-La), ce qui donne à nouveau un sens mélodique au vibrato. Ces exemples indiquent que le contexte musical influe sur la réalisation du vibrato par le chanteur, au point d'adapter son jeu aux fonctions harmoniques ou mélodiques. Ces adaptations sont perceptibles par l'auditeur, et participent à la qualité d'une interprétation, même si elles ne sont identifiées consciemment. Pour les transitions liées longues comme pour les courtes, Seashore (3) remarque que (p272) : "It will be observed that in good singing the transition is always a function of the vibrato, which serves to lengthen or shorten the note of the transition, according as it fits into the vibrato cycle". Pour les transitions longues, un inventaire des types de transitions observés est donné. Toutes les formes proposées par Seashore ne semblent pas également valides pour une exécution correcte, à la lumière des expériences que nous allons décrire.

3 PERCEPTION DES TRANSITIONS ENTRE NOTES LIÉES

Dans cette partie, les observations de la section précédente sont réexaminées à l'aide de tests perceptifs utilisant des stimuli synthétiques.

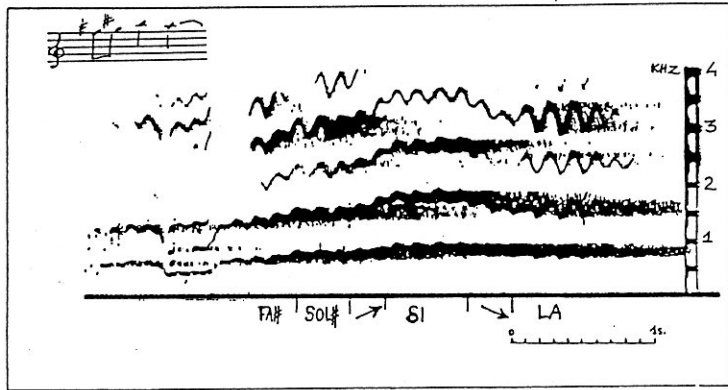


Figure 5. Portendo comportant plusieurs cycles de vibrato (Teresa Zylis-Gara, extrait de "Ariane à Naxos" de Straus).

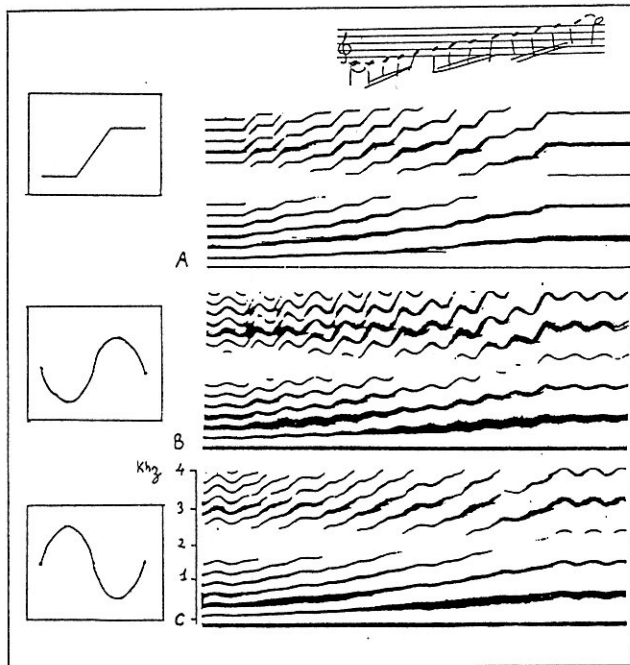


Figure 6. Gammes diatoniques synthétiques: A. transition en phase avec le vibrato. B. transition sans vibrato. C. transition en opposition de phase avec le vibrato.

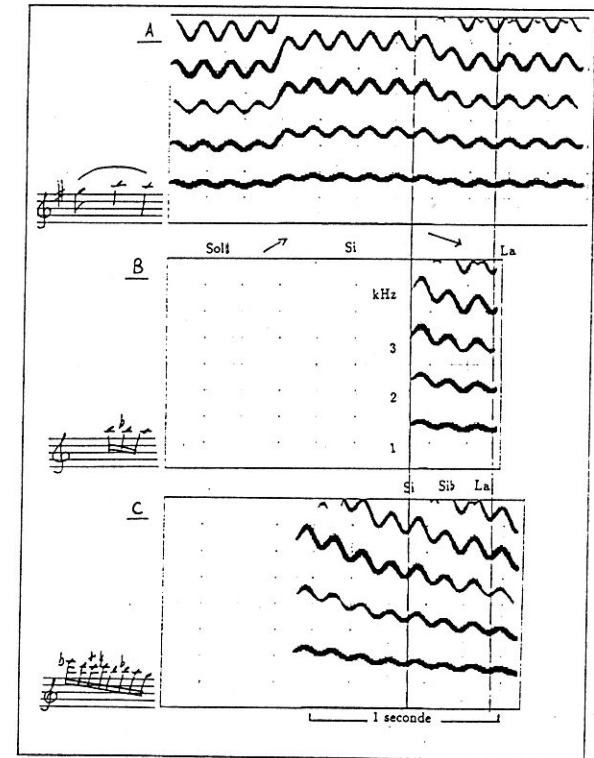


Figure 7. Portendo comportant plusieurs cycles de vibrato. A. séquence mélodique initiale. B. cycles extraits du portendo isolés. C. cycles extraits du portendo inclus dans une gamme chromatique descendante.

3.1. Méthode expérimentale

La technologie de la synthèse sonore permet de réaliser des sons vocaux synthétiques de bonne qualité. C'est ce type de matériau qui est utilisé pour les tests de préférence à des sons réputés plus "simples". Un son pur est plus simple qu'un son vocal si la simplicité est définie par rapport à l'analyse mathématique, mais un son vocal est plus simple si la simplicité est définie par rapport à notre univers sonore ou par rapport à nos capacités de production. La raison première pour un tel choix est la possibilité d'extrapolation des résultats obtenus à la pratique musicale du chant grâce à la proximité entre les signaux synthétiques de tests, et les signaux naturels que l'on souhaite étudier. Shonle et Horan (4) affirment de plus que " Pitch (of vibrato tones) does not show any strong dependance on complexity of the signal waveform", d'après une étude utilisant des signaux sinusoïdaux et carrés.

Les exemples synthétiques sont produits par un synthétiseur à formants en parallèle, utilisé pour la synthèse de voix chantée (2). Les formants sont maintenus fixes, avec les valeurs suivantes : $F1 = 650$ Hz, $F2 = 1100$ Hz, $F3 = 2900$ Hz, $F4 = 3300$ Hz qui correspondent à un /a/ pour un fondamental assez grave. La vitesse du vibrato est 6,5 Hz et son amplitude totale de 4,5 % du fondamental. La qualité vocalique change légèrement avec la hauteur du fondamental, mais cette altération n'influe pas sur la perception de hauteur tonale. Ce changement de timbre a été attribué par certains sujets à un changement de type de voix (ténor/alto par exemple), ce qui n'a pas non plus d'importance ici. Les expériences rapportées dans cette section ont été effectuées avec quinze sujets, tous musiciens (dont deux chanteurs). Deux méthodes de présentation ont été utilisées, avec des haut-parleurs et avec un casque, mais sans différences pour les résultats.

3.2 Transitions courtes

La synchronisation entre cycles de vibrato et note, observée dans la première partie, a fait l'objet d'une première étude.

Une gamme diatonique a été synthétisée, en superposant un vibrato (excursion sinusoïdale) à une variation du fondamental, portée à la figure 6. Deux exemples ont été soumis aux sujets. Dans le premier cas, la phase du vibrato est fixée de façon à ce que la montée du fondamental accompagne celle du vibrato (ce que Vennard (7) encourage "This ascending scale is "on the vibrato"". Au contraire, dans le second cas la phase du vibrato est descendante lorsque la transition monte. Tous les sujets ont jugé ce dernier exemple imprécis mélodiquement et rythmiquement. La première et la dernière note de la gamme sont justes, mais les notes intermédiaires ne correspondent pas à une intonation correcte. Le premier exemple, au contraire, est jugé d'une justesse satisfaisante et d'un rythme régulier par tous les sujets. Dans ce dernier exemple, chaque cycle de vibrato est situé exactement sur une note, et l'excursion du vibrato est fréquemment située symétriquement de part et d'autre de la fréquence juste de la note. Cette expérience montre que la synchronie entre vibrato et transition de note est directement reliée à la qualité de la séquence émise.

L'importance de la forme de la transition entre les notes a conduit à synthétiser des formes différentes. Comme dans l'exemple du paragraphe

précédent, une fluctuation sinusoïdale a été superposée à des transitions de notes. Dans le premier cas, il s'agit de transition en "marches d'escalier" très raides, dans le second cas il s'agit d'un glissando de fréquence entre les deux notes extrêmes de la gamme. La première transition est perçue peu naturelle, et il semble bien que le type correct (qui paraît naturel) de transition est celui de la figure 6, avec la bonne phase. Dans le second cas, il est remarquable que les sujets perçoivent tous une gamme, mais fautive et imprécise. La seule fluctuation induite par le vibrato suffit à structurer le continuum de la fréquence fondamentale de façon à faire émerger des notes. Comme ces notes sont disposées au hasard de la combinaison du vibrato avec le glissando, elles ne coïncident pas avec des valeurs correctes de l'échelle musicale.

De nombreux autres exemples de gammes diatoniques et chromatiques et d'intervalles ascendants et descendants ont été réalisés. L'écoute de ces exemples montre clairement que la transition entre deux notes est jugée acceptable lorsqu'elle commence avec une demi-arche descendante pour une transition montante, et réciproquement. Si l'on considère les intervalles ascendants de la figure 6, l'exemple C est jugé imprécis et mal réalisé, alors que l'exemple B est juste, sans ambiguïté. C'est ce type de transition que montrait, par exemple, la figure 3, d'après Mado Robin.

Le phénomène de synchronisation entre transition et vibrato, observé dans les passages chantés de chanteurs expérimentés possède donc une explication perceptive : si la synchronisation n'est pas correcte, la justesse et le rythme de la note émise sont discutables. Vennard (p 197) (7) conseille d'ailleurs aux étudiants de ralentir le tempo de certains exercices (gammes, arpèges), de façon à garder le contrôle auditif de toutes les notes pour perfectionner le vibrato. Ce résultat doit évidemment être tempéré, car les réalisations de chanteurs montrent également des exemples où la synchronisation entre transition et vibrato n'est pas toujours parfaite. D'une part, suivant l'habileté de l'interprète, certaines transitions peuvent être plus ou moins bien réalisées. D'autre part le manque de précision rythmique ou mélodique due à une mauvaise synchronisation du vibrato et des transitions peut-être masqué par une évolution de la dynamique (changement d'intensité pendant la transition), ou par l'articulation de consonnes.

3.3 Transitions longues

Les résultats précédents sur les gammes posent la question de la perception des transitions longues, qui comportent plusieurs cycles de vibrato. Rien n'interdit, a priori, de percevoir chaque cycle, comme une note isolée, à la manière des gammes du paragraphe précédent. A partir de l'exemple 5, trois séquences synthétiques ont été réalisées, et sont portées figure 7. La première est le passage tout entier, qui représente une séquence musicale courte mais complète, avec son contenu mélodique, rythmique, expressif. Une transition longue descendante est située entre le Si et le La. La seconde séquence est obtenue à partir de la première en découpant la transition longue, on isole les trois cycles de vibrato qui la constitue. La troisième séquence est un fragment de gamme chromatique descendante qui contient les trois cycles en cause. Dans les deux derniers cas, on a donc affaire à un contexte musical plus neutre, puisque les indications mélodiques, rythmiques et expressives sont réduites à quelques notes issues de fragments de

gammes chromatiques. Dans le premier cas, la transition est perçue par la totalité des sujets comme un portando expressif entre Si et La. Dans le second exemple, chaque note est perçue précisément, comme trois notes chromatiques descendantes; dans le troisième cas de fragment est également identifié comme un fragment de gamme chromatique descendante, et chaque note est clairement identifiée. Ces trois exemples montrent donc que, en fonction du contexte, un même cycle de vibrato peut-être perçu comme une note indépendante ou bien être ignoré en tant que tel : il s'agit bien ici de perception musicale, puisque le sens musical du fragment influe notablement sur la perception de son contenu objectif. Il faut remarquer que si l'on demande aux sujets de se concentrer sur l'écoute de la transition, donc de s'abstraire du sens musical du fragment et de quitter une écoute musicale, plutôt synthétique, pour adopter une écoute "de test perceptif", plutôt analytique, ils peuvent identifier la transition comme un fragment chromatique, pour peu qu'on leur fasse écouter le second exemple pour les guider.

4. CONCLUSION

Cette étude apporte des résultats descriptifs, et perceptifs sur la variation de la fréquence fondamentale de notes chantées lors de transitions de notes. Les conclusions peuvent être résumées ainsi :

1. La synchronisation entre transition liée courte et vibrato est un facteur important pour une émission juste et précise. Cela implique (et explique), entre autres, que les interprètes utilisent un nombre entier de cycles par notes pour les notes liées, comme l'ont noté plusieurs auteurs.
2. Lors de transitions longues, qui comportent plusieurs cycles de vibrato, le contexte musical est déterminant pour la perception. Les exécutions les plus distinguées utilisent ces cycles de vibrato pour renforcer le sens musical du passage, en plaçant les hauteurs de ces cycles sur des notes significatives, dans le contexte musical donné. La modification artificielle du contexte musical conduit à une perception différente, en accord avec le nouveau contexte.
3. Un seul cycle de vibrato est suffisant pour susciter la perception d'une note. Il est fréquent d'observer des notes courtes liées qui ne possèdent qu'un cycle. Réciproquement, introduire du vibrato dans un glissando de fréquence le transforme en mélodie. Donc, même en l'absence de transition marquée, les inflexions du fondamental ont une importance particulière.

Il faut rappeler que les observations précédentes portent sur des exemples musicaux remarquables, qui montrent une agilité vocale exceptionnelle. Les exemples synthétiques rappellent clairement comment la maladresse dans l'emploi du vibrato peut conduire à des exécutions imparfaites.

Ces quelques résultats suggèrent plusieurs directions de recherche. La première conclusion pose la question des relations du vibrato et de la durée de transition des notes, en particulier suivant l'ambitus des intervalles mélodiques

considérés. La seconde conclusion est bâtie sur un paradoxe, la même séquence peut-être perçue différemment en fonction du contexte : quels mécanismes cognitifs permettraient de le résoudre ? Des études psychoacoustiques paraissent nécessaires pour expliquer la structuration perceptive d'un glissement de fréquence en succession de notes lorsqu'un vibrato est introduit.

REFERENCES

1. CASTELLENGO M., RICHARD G., D'ALESSANDRO C. - 1989 : Study of vocal pitch vibrato perception using synthesis. Proc. of 13 th Int. Cong. on Acoust. Belgrade, 113-116.
2. RODET X. - 1980 : Time-domain formant-wave-function synthesis. In *spoken language generation and understanding*, Ed. J.C. Simon, D; Reidel Publishing company, Dordrecht, reprinted in *Computer Music Journal*, 1984, 8(3), 9-14.
3. SEASHORE C. E. - 1938 : *The psychology of music*, Mac-Graw Hill, New York.
4. SHONLE J.I. and HORAN K.E.- 1980 : The pitch of vibrato tones. *J. Acoust. Soc. Am.* 67(1), 246-252.
5. SUNDBERG J. - 1972 : Pitch of synthetic sung vowels. *Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report, STL-QPRS 1/ 1972*, 34-44.
6. SUNDBERG J. - 1979 : Perception of synthetic singing. *Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report, STL-QPRS 1/1979*, 1-48.
7. VENNARD W. - 1967 : *Singing, the Mechanism and the Technic* . Carl Fisher Inc., New York.