

# “AMOUR ET SYMPATHIE”

Actes des rencontres internationales  
autour des instruments à cordes sympathiques



Limoges 28, 29 novembre 1992

Ensemble Baroque de Limoges

# De la résonance, une étude acoustique du phénomène sympathique

**Charles Besnainou et Michèle Castellengo**  
Université Paris 6, CNRS, Ministère de la Culture  
Laboratoire d'Acoustique Musicale, UMR 9945

## Remerciements

*Nous remercions Jean-Philippe Vasseur ainsi que Ram Narayan  
qui nous ont permis de faire ces enregistrements.*

Dans le cadre de ce colloque, une étude acoustique du phénomène de résonance sympathique se révèle indispensable. En effet, est-il possible d'objectiver certaines des propriétés acoustiques qui rendent si attachants les instruments de musique à cordes sympathiques ?

## I-Position du problème

Il est récurrent d'entendre dire que l'adjonction de cordes sympathiques sur un instrument de musique aurait pour effet d'en augmenter la sonorité et la puissance. Remarquons ici qu'il peut déjà y avoir confusion dans les termes, le mot sonorité définit une qualité qui prend en compte les trois dimensions d'un son : le timbre, la hauteur et l'intensité (*dic. Robert*). C'est donc en direction de ces trois aspects que nous allons devoir analyser le phénomène pour essayer de le comprendre. Tout d'abord il est important de noter que la sensation d'intensité (la puissance) varie avec la fréquence : la figure 11 montre que l'oreille humaine est un million de fois plus sensible, au seuil d'audibilité, entre 1000 et 3000 Hz, qu'aux basses fréquences (50 Hz), ceci pour des sons purs, c'est-à-dire qui ne comportent qu'une seule composante sinusoïdale.

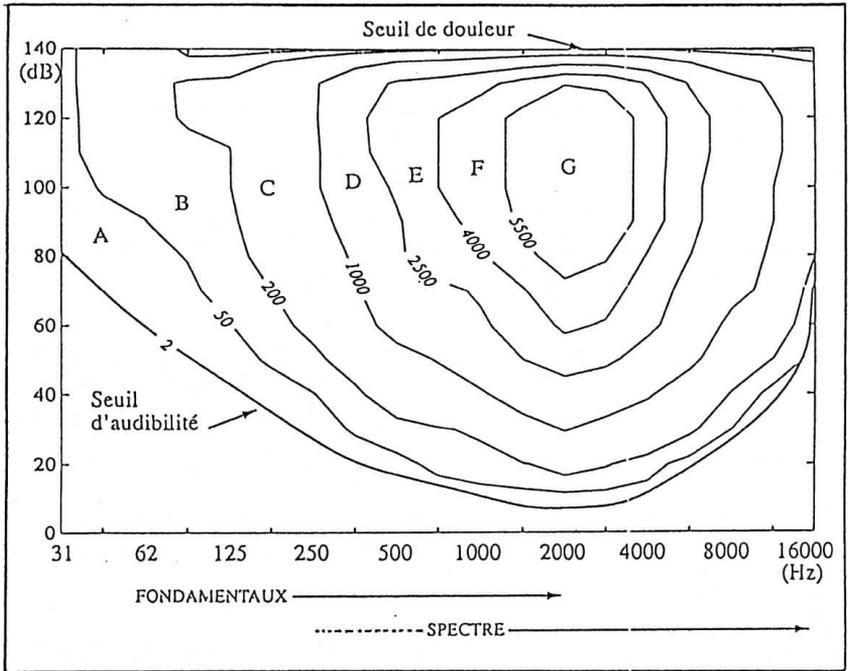


Figure 11 : Variations de la finesse de résolution de l'oreille en fonction de la fréquence. Les courbes délimitent des zones de finesse croissantes (de A à G) dont les seuils sont respectivement: 2, 50, 200, 1000, 2500, 4000 et 5500, le maximum (le cœur) étant de l'ordre de 7000. (d'après Castellengo [cf. biblio. p. 61])

Or les sons réels et surtout les sons musicaux sont le plus souvent constitués de plusieurs composantes, et ce sont ces multiples composantes qui participent à la caractérisation du timbre. A énergie égale, un son qui comportera plus de composantes dans la zone sensible de l'oreille (entre 1000 et 3000 Hz) sera mieux perçu qu'un autre son de même hauteur qui en comportera moins, d'autant que les seuils de discrimination en fréquence et en intensité étant également plus petits dans cette zone, pour un niveau moyen de 90 dB par exemple, la discrimination de l'oreille y est maximale.

Si l'on fait une mesure de l'énergie rayonnée par un instrument de musique à cordes sympathiques, on s'aperçoit qu'avec ou sans cordes sympathiques il n'y a pas de différences significatives: le niveau lu par un microphone reste le même avec ou sans cordes sympathiques. Suivons donc maintenant toutes les étapes de la chaîne de production d'un son sur de tels instruments, pour découvrir ce qui est perçu.

## II - Qu'est-ce un oscillateur ?

C'est un système matériel qui est susceptible de se mettre en **mouvement périodique** autour d'une **position d'équilibre**. Ce mouvement est appelé **vibration**.

Ce système matériel vibre en **oscillations libres**, après qu'on l'ait éloigné de sa **position d'équilibre**. Cette oscillation libre se fait à une **fréquence  $F_0$** , appelée fréquence propre du système.

Pour cela, **l'énergie qui lui a été communiquée** est celle qui a permis de l'éloigner de sa position initiale d'équilibre. Cette énergie est localisée sous deux formes qui alternent l'une l'autre : **une forme cinétique et une forme potentielle**.

A chaque période du mouvement, l'élongation du système n'atteint pas l'amplitude précédente à cause des frottements : **c'est l'amortissement**.

### Que se passe-t-il lorsqu'un oscillateur subit une excitation forcée ?

Si on impose une **force alternative d'intensité constante** à un système oscillant, on constate que l'amplitude du déplacement forcé d'un point du système peut **devenir plus grande** que celle de l'excitation ; et ceci arrive uniquement lorsque la fréquence de l'excitation correspond à la **fréquence propre** du système. Cette fréquence particulière s'appelle la **fréquence de résonance**.

Le rapport entre l'amplitude à la résonance et l'amplitude de l'excitation s'appelle le **facteur de qualité  $Q$**  du système. Cela signifie aussi que plus le facteur de qualité est grand, et plus facilement le résonateur sera susceptible de se mettre en mouvement sous la sollicitation d'une très faible quantité d'énergie, pourvu qu'elle soit à la fréquence de résonance du système. Ainsi, le vent peut-il faire se balancer un pont de plusieurs milliers de tonnes jusqu'à sa destruction ! Simplement si l'effet des turbulences du vent sur les haubans ou les rambardes sonne à la bonne fréquence.

D'où le nom de **résonateur** que l'on donne aux systèmes doués de cette propriété.

En régime permanent, l'énergie **apportée** dans le système sert **uniquement à compenser les pertes** dues aux amortissements

### III - Et les cordes sympathiques?

Une corde par elle-même ne rayonne pas d'énergie acoustique: **sa surface de contact avec l'air est bien trop petite**. Pour cela elle est **couplée** à un résonateur qui, par sa taille, permettra de battre l'air avec plus d'efficacité pour rayonner de l'énergie acoustique.

Une toute **petite fraction** de l'énergie cinétique de la corde, **moteur de l'instrument**, sert à entretenir le mouvement du corps sonore.

Les **cordes sympathiques**, parce qu'elles sont solidaires du corps résonnant, font **partie du résonateur** et, à ce titre, elles prélèvent une partie de l'énergie que le moteur "corde" fournit à l'instrument.

A cause du facteur de qualité élevé des cordes, une sollicitation brève des cordes continuera à les faire vibrer beaucoup plus longtemps que le résonateur. Ces cordes ainsi excitées auront un mouvement significatif, qui, à son tour, va exciter le corps de l'instrument et modifier l'émission de l'instrument. Ces modifications sont sensibles du point de vue du **timbre** et en particulier après **l'arrêt de l'excitation** du moteur "corde": ces cordes sympathiques auront alors tendance à continuer à vibrer et donc ainsi à prolonger l'excitation du corps sonore de l'instrument.

### IV - Expériences

Nous avons donc conduit quelques expériences simples pour mettre en évidence les propriétés si remarquables des instruments à cordes sympathiques. On demande au musicien de jouer une gamme chromatique sur l'instrument normal, cordes sympathiques libres, puis une deuxième fois en étouffant les cordes sympathiques avec une bande de feutre. Le tout est enregistré dans une chambre anéchoïque afin que les échos de la salle ne troublent pas le phénomène. Nous avons pu faire ces enregistrements avec une viole d'amour et un sarangui. Deux types d'analyses ont été faites: une première analyse qui mesure globalement l'amplitude du son au cours du temps, et une deuxième analyse qui identifie le contenu spectral du signal sonore ainsi que son évolution au cours du temps.

Pour bien mettre en évidence les effets recherchés, nous avons demandé au musicien de jouer une gamme staccato; ainsi lorsque la corde cesse de vibrer sous l'archet on distingue bien le son des cordes sympathiques qui se prolonge.

## A. Effet sur la durée son

La figure 12 nous montre quelques notes successives jouées sur la viole d'amour. L'amplitude des sons est ici analysée globalement, on visualise donc l'établissement, la tenue et puis l'extinction du son. Lorsque les cordes sympathiques sont **étouffées**, on remarque que l'attaque et l'extinction sont nettes et rapides (cf. figure 12 a), alors que, lorsque les cordes sympathiques sont **libres**, l'extinction se prolonge par une sorte de rebond qui, bien que beaucoup plus faible que le son entretenu, est parfaitement perceptible (cf. figure 12 b).

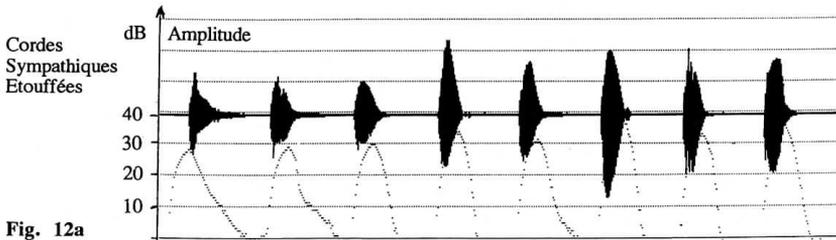


Fig. 12a

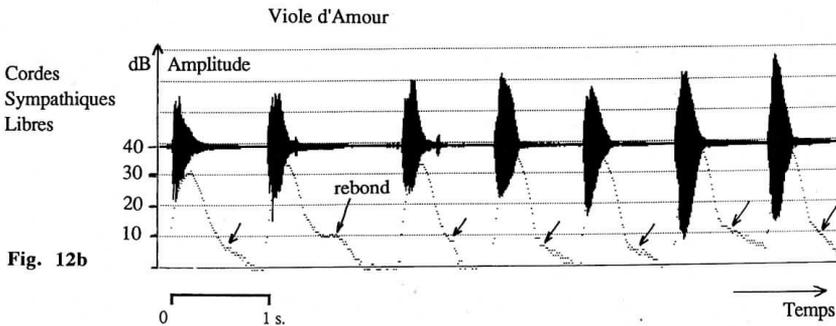


Fig. 12b

■ Enveloppe de l'onde      - - - Intensité globale en dB

Figure 12: Rôle des cordes sympathiques sur la durée d'extinction. Analyse comparée de 7 notes jouées détachées.

## B. Effet sur le contenu spectral du son

La représentation de la figure 13 permet de visualiser le spectre du son ainsi que l'évolution du timbre au cours du temps. Sur la figure 13b p. 58, chaque trace horizontale représente l'intensité d'une composante spectrale: comme le son de l'instrument est dans ce cas *harmonique*, les traces sont équidistantes, c'est-à-dire que leurs fréquences sont des multiples entiers du son fondamental. Lorsque les composantes ne sont pas multiples d'un fondamental, le son est

*inharmonique*. Cette représentation montre aussi que les multiples harmoniques de la corde ne s'éteignent pas toutes en même temps. En particulier, la première note [MI] montre une attaque et une extinction rapide (cf. figure 13a et b) à la différence de la seconde note [FA#] qui présente une extinction qui se prolonge au delà de l'arrêt de l'archet sur la corde. La représentation spectrale (cf. figure 13b) nous donne plus d'informations que la représentation de l'amplitude globale du son (cf. figure 13a). En effet après la fin du coup d'archet on peut voir quelles sont les composantes qui ont prolongé le son dans l'extinction.

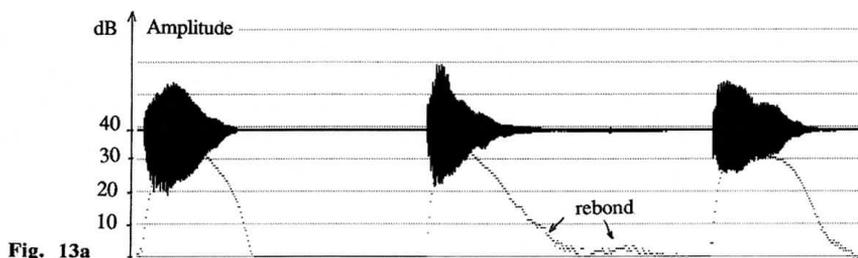


Fig. 13a

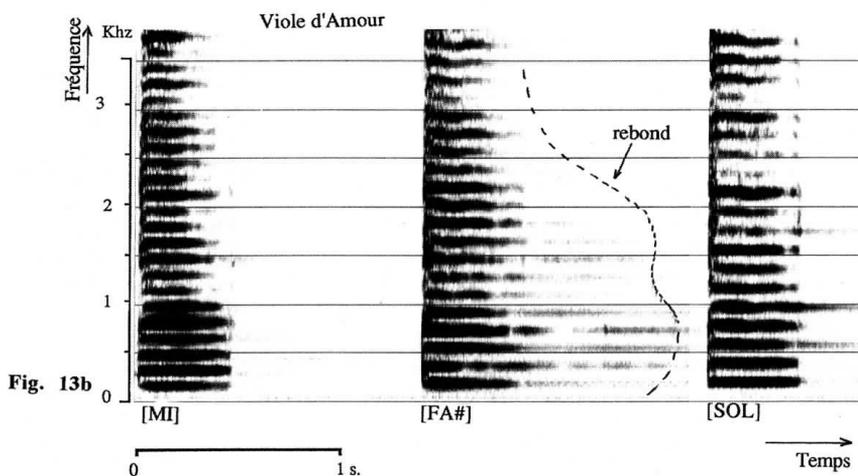


Fig. 13b

Figure 13 : Analyse acoustique de 3 notes jouées en détaché, cordes sympathiques libres. En haut, courbes d'amplitude (cf. figure 12 p. 57) ; en bas, sonagramme montrant le prolongement des harmoniques 2, 3 et 4.

L'explication du phénomène est que la note [FA#] jouée par le musicien se trouve être à l'unisson de l'une des cordes du jeu sympathique et ainsi celle-ci est excitée à son tour. Comme elle est libre de ses mouvements, elle continue de vibrer après la fin du coup d'archet; couplée elle aussi au résonateur, son effet devient auditivement perceptible. On notera que la corde sympathique a des

composantes partielles (ici harmoniques) qui coïncident avec celles de la corde effectivement jouée, puisqu'elles sont toutes deux à l'unisson et le son se prolonge composante par composante. C'est sans doute cet effet de halo ou de réverbération du son qui est responsable du *legato* et de la fusion des sons, propre aux instruments à cordes sympathiques.

Donc chaque fois qu'une composante du système exciteur rencontrera une composante du jeu sympathique, les cordes de celui-ci, en prélevant une infime partie de l'énergie, se mettront en mouvement. A leur tour, elles coloreront et prolongeront ainsi le son.

La figure 14 nous montre l'effet spectral et temporel lorsque l'on joue une gamme diatonique, cordes sympathiques libres ou étouffées. On remarquera bien sûr la prolongation des sons, mais aussi le fait que, alors que la gamme est ascendante, une série de partiels renforcés-prolongés font une gamme descendante.

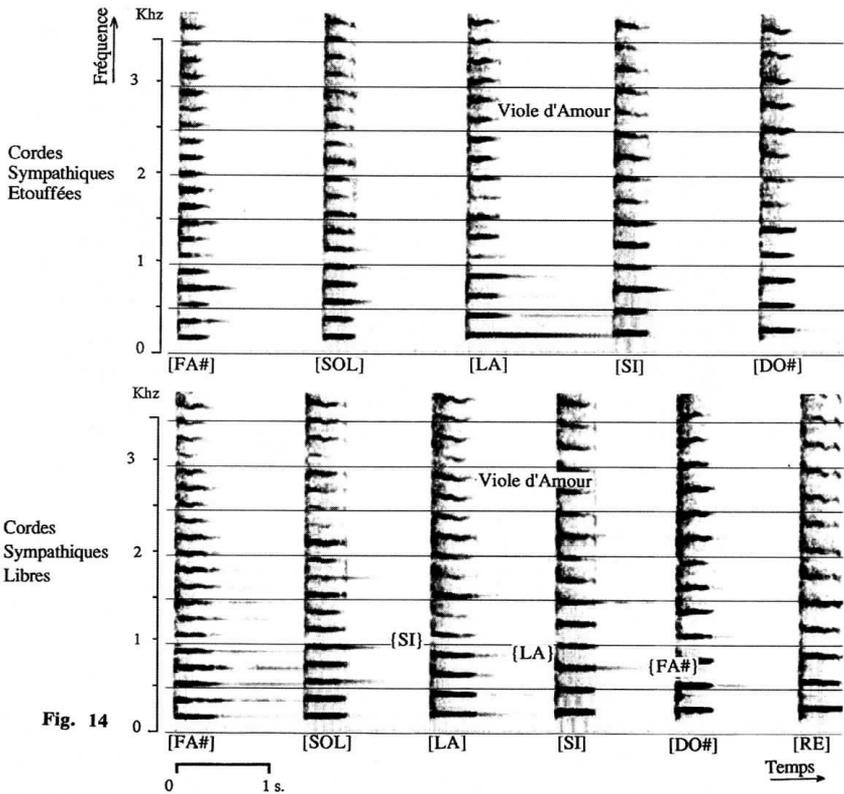


Figure 14 : Spectrogrammes comparés de sons détachés, sur la partie inférieure apparaît la mélodie "spectrale" due aux cordes sympathiques.

Par exemple à [SOL] [LA] [SI] ascendant, correspond [SI] [LA] [FA#] descendant. On a donc, suivant le contexte de l'écriture musicale, non seulement un enrichissement du contenu spectral, mais aussi des mélodies, que l'on peut qualifier de spectrales, qui émergent de la musique elle-même. Ce qui peut parfois confiner à l'étrange!

S'il est un instrument et une musique qui réalisent la symbiose parfaite de ces effets, c'est bien le *sarangi* de la musique de l'Inde. La figure 15a montre les deux cordes jouées à l'archet, jeu sympathique étouffé. Tout d'abord on notera que les deux sons forment un intervalle d'une quinte, puisqu'ils ont en commun le partiel 3 du premier avec le partiel 2 du second, ainsi que le partiel 6 qui correspond au partiel 4 etc. En effet parce que ces sons sont parfaitement harmoniques, la suite des composantes est strictement équidistante. Et c'est la figure 15b qui révèle la merveilleuse complexité des sons, dès lors que le jeu sympathique fait son office: derrière le réseau régulier des sons harmoniques joués à l'archet, on distingue l'écho sympathique qui fait chatoyer le son.

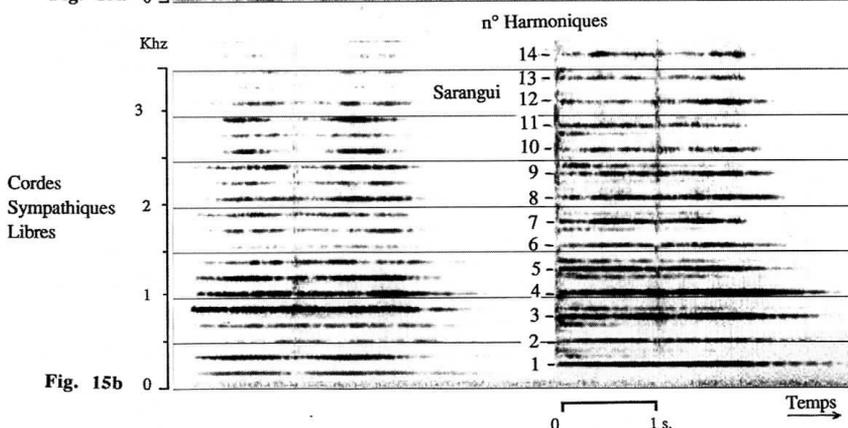
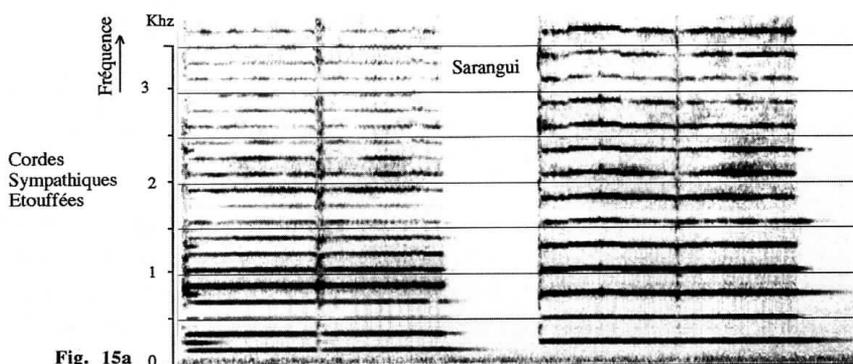


Figure 15: Sonogrammes de jeu de sarangi. L'effet des cordes sympathiques est notable pendant la tenue du son et surtout après l'arrêt de l'archet. Le trait vertical visible au milieu de chaque son représente le changement de sens de l'archet.

## V - Conclusions

Même s'il est perceptible, l'effet du "rebond" qui prolonge le son est de 30 à 40 décibels plus faible que le son entretenu, ce qui veut dire 30 à 100 fois plus petit (cf. figure 12a p. 57). Ce sera donc **un effet à très faible portée qui concerne uniquement le musicien et une bulle de quelques mètres autour de lui.**

Mais le jeu sympathique va créer par là même un **halo acoustique** qui peut ressembler à la réverbération que l'on rencontre dans une grande salle aux parois réfléchissantes, c'est l'effet "cathédrale". Exactement comme le réalise la pédale *legato* du piano, le jeu de cordes sympathiques va induire une fusion plus ou moins grande des sons. Pour certaines écritures musicales, cela peut nuire à l'intelligibilité. Par contre, pour les musiques modales ou celles qui utilisent la série des harmoniques naturelles des sons, les instruments à cordes sympathiques vont créer une ambiance acoustique intime et chaude. Dans sa communication sur la viole d'amour, Jean-Philippe Vasseur a bien montré que l'altiste de l'orchestre de Berlioz, lorsqu'il jouait de la viole d'amour, avait besoin de faire la pénombre dans son appartement, et c'était dans ces conditions que les auditeurs pouvaient être transportés par les sons de cet instrument.

Même si les luthiers sont capables de faire des prouesses de réglage pour rendre le jeu sympathique sensible à la moindre inflexion du musicien, ces instruments ne révéleront leurs charmes que dans un cercle restreint. C'est sans doute là qu'il faut trouver la raison des appréciations si contradictoires à propos de la viole d'amour ou du baryton: ceux qui sont près sont ravis, alors que les auditeurs éloignés sont déçus de n'avoir pas ressenti ce qu'on leur avait annoncé.

## Bibliographie

- Leipp Emile**, *Acoustique et Musique*, Masson éd., Paris, 1984.  
**Castellengo Michèle**, La perception auditive des sons musicaux, in *Psychologie de la musique*, Zénatti A, PUF éd., Paris, 1994.  
**Weinrich Gabriel**, Comment vibrent les cordes d'un piano, in *Sons et Musique*, Belin éd., Paris, 1978.