

VARIATIONS DES TIMBRES DES INSTRUMENTS DE MUSIQUE EN FONCTION DU NIVEAU

C'est un fait bien connu que la plupart des instruments de musique acoustique ont un timbre ou un contenu harmonique qui varie suivant que l'on en joue fort ou doucement. Ces variations de la qualité du timbre sont habituellement très complexes mais certaines généralisations sont possibles pour quelques classes d'instruments.

Les techniques habituelles de synthèse électronique de musique exploitent les variations de timbre à allure musicale produites par des générateurs de signaux commandés électriquement et associés à des filtres.

Le but de cet exposé est de classer, de façon simplifiée, les variations du contenu spectral de onze instruments de l'orchestre. Nous tentons ici de mettre en évidence les aspects qualitatifs de ces variations et il ressort que les résultats sont intéressants autant pour la synthèse musicale en général que pour la synthèse visant à imiter ces instruments.

Aucun des instruments étudiés n'est à percussion. D'une façon générale on peut diviser arbitrairement en deux séquences les sons produits par les instruments retenus. Une première partie correspond à des variations très rapides du spectre, une seconde à des variations lentes.

Les séquences à variation rapide sont en général la conséquence de modifications de l'excitation appliquée à l'instrument pendant

une durée qui correspond au temps d'accumulation d'énergie (ce temps est propre à l'instrument). Cette période d'excitation est caractérisée par l'interaction ou par l'interférence entre l'énergie accumulée et le mécanisme d'excitation lui-même. Par exemple, avec les cuivres (Trompette, trombone, tuba), le départ d'une note haute requiert la mise en vibration du tuyau de l'instrument (comme un tuyau d'orgue) par une série d'impulsions. L'interprète ne connaît ni ne sent la longueur et par conséquent la hauteur d'accord du tuyau avant que le son réfléchi, en retour du pavillon par l'intermédiaire de l'embouchure n'ait atteint ses lèvres.

Tous les écarts entre le mode de résonance propre du tuyau accordé sur la note que l'on veut jouer et le mode d'excitation provoquent des interférences entre l'onde qui arrive et celle qui venait de s'établir avec des variations transitoires complexes.

Avec les instruments à cordes qui utilisent une caisse de résonance, cette dernière répond avec un délai qui est inversement proportionnel au temps d'excitation Q des modes de résonance de la caisse de l'instrument.

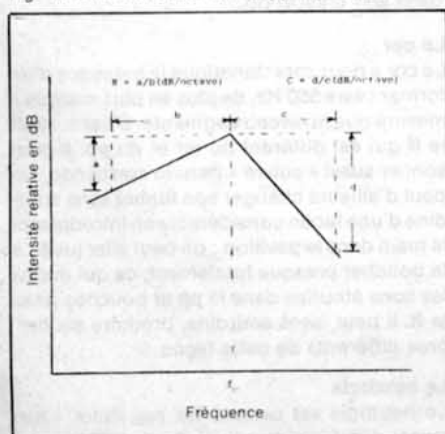
Les résultats discutés ici sont obtenus à partir de séquences correspondant à un régime établi obtenu pour différentes notes. Ces variations du contenu harmonique, étudiées ici sous cet aspect statistique, sont révélatrices

quant aux variations probables du spectre pendant l'attaque, le régime établi et l'extinction du son. Ceci met en évidence le fait qu'il est rare qu'un instrument produise des sons qui ne varient qu'en amplitude et qu'en réalité, la forme d'onde est en constante évolution. L'aspect particulier de cette évolution, auquel nous nous intéressons est la variation du contenu harmonique lorsque le niveau produit par l'instrument change. Nous n'essayerons pas d'expliquer quelles sont les raisons physiques qui provoquent ces variations mais seulement de les classer pour les rendre exploitables en musique électronique.

Les courbes d'enveloppe spectrale représentées en fig 1-II sont obtenues à partir des mesures d'amplitude des harmoniques, faites pour un certain nombre de notes (habituellement 20 ou plus) d'une gamme jouée à une intensité déterminée (pp, mf ou ff).

Les instruments sont enregistrés sur bande magnétique en chambre sourde ; le signal est transformé en signal digital et analysé sur ordinateur. La nature statistique de ces courbes, le nombre élevé de variables complexes qu'elles mettent en jeu, limitent leur emploi pour une synthèse qui les utiliserait directement. Cependant, un certain nombre de paramètres, tels que les fréquences des formants et les effets de coupure en fréquence apparaissent clairement.

Fig. 1 : Paramètres de l'enveloppe spectrale



Instrument	Fréquence charnière fc (Hz) (pp)	Δfc (pp-ff)	pente d'atténuation vers le grave (dB/octave) (pp)	Δag (pp-ff)	pente d'atténuation vers l'aigu (dB/octave) (pp)	Δaa (pp-ff)
Trompette	1 200	0	0	4	15	- 8
Trombone	550	200	2	2	24	- 10
Cor	550	0	2	3	20	0
Hautbois	1 300	0	3	0	17	- 3
Cor anglais	900				11	
Basson	520	0	4	- 4	20	- 11
Flûte	780	130	- 4	14	15	2
Violon	350	0	8	2	9	- 3
Alto	350	0	6	3	9	- 1
Violoncelle	160	0	2	8	11	- 2
Contrebasse	80	0			10	- 1

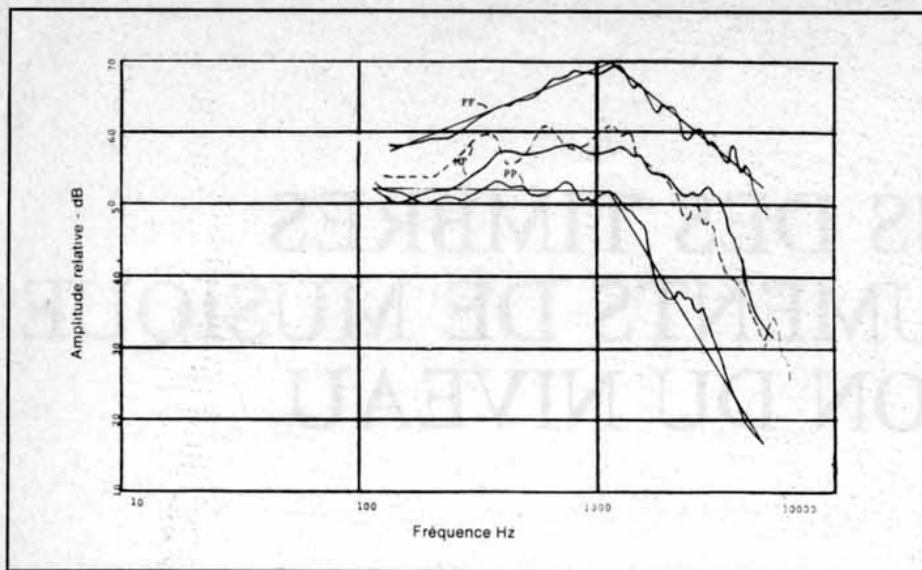


Fig. 2 : Enveloppe spectrale de la trompette

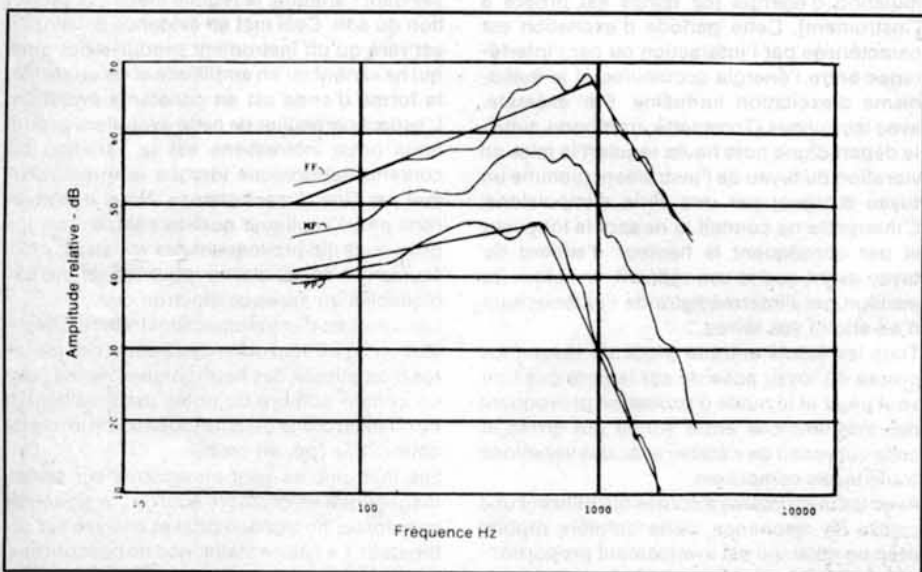
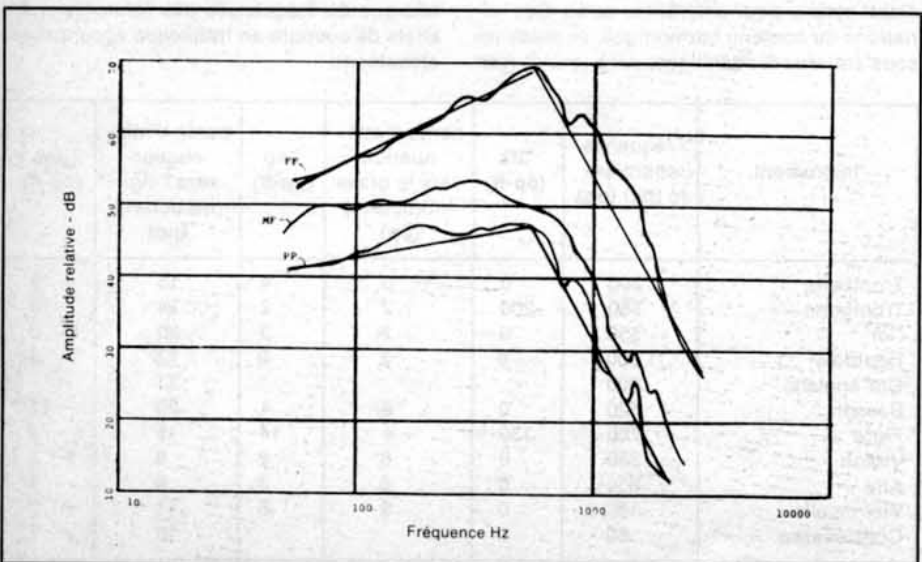


Fig. 3 : Enveloppe spectrale du trombone

Fig. 4 : Enveloppe spectrale du cor



Deux courbes différentes sont représentées pour la trompette et le violon joués *mf*. Les courbes en pointillé sont obtenues à partir de l'enregistrement d'un second interprète jouant sur un instrument différent ; ceci pour mettre en évidence la différence que l'on peut obtenir d'un interprète à l'autre.

Un modèle simplifié de courbe de variation d'amplitude est représenté fig. 1. La plupart des courbes relevées sont en effet formées de deux parties à peu près droites, le segment de gauche représentant la coupure basse avec une pente fixe définie en dB/octave et le segment de droite, la coupure vers l'aigu avec une autre pente constante, toujours définie en dB/octave.

La fréquence de changement de pente qui correspond à l'intersection des deux droites précédentes est située à l'endroit où se manifeste le premier formant. Nous l'appellerons fréquence charnière.

Il est difficile de tracer des droites avec les courbes-enveloppe du hautbois et du cor anglais ; la flûte pose aussi quelques problèmes. Le tableau résume les pentes de coupures basses R, les pentes de coupures hautes C, les fréquences charnières F_c obtenues pour le jeu *pp* et la variation de ces trois paramètres lorsqu'on passe de *pp* à *ff*.

La trompette.

La trompette fait apparaître une augmentation importante du contenu harmonique aigu (situé au-dessus de la fréquence charnière de 1200 Hz représentant le premier formant de cet instrument). Le rapport d'intensité entre le fondamental et l'harmonique de rang 10 est de -25 dB pour une note jouée pianissimo et de 0 dB pour une note jouée fortissimo. Cet effet est encore plus marqué avec les sourdines. Ces résultats recourent assez bien les impressions que l'on retire de l'écoute directe de l'instrument.

Le trombone

Le trombone au-dessus de la fréquence du « formant » a un taux d'atténuation beaucoup plus important que la trompette ; dans les fréquences plus basses que la charnière, il a un taux de croissance plus rapide que celui de la trompette également, ce qui veut dire que son timbre se colore de plus en plus jusqu'à 1 000 Hz approximativement. Un « formant » devient de plus en plus important avec l'augmentation de l'intensité. En effet, à l'oreille on le trouve de plus en plus « cuivré » dans son crescendo.

Le cor

Le cor a pour caractéristique la présence d'un formant vers 550 Hz, de plus en plus marqué à mesure que le niveau augmente. C'est surtout le *ff* qui est différent du *mf* et du *pp*. Il peut sonner aussi « cuivré » dans le crescendo. On peut d'ailleurs changer son timbre sans sourdine d'une façon considérable en introduisant la main dans le pavillon ; on peut aller jusqu'à le boucher presque totalement, ce qui donne les sons étouffés dans le *pp* et bouchés dans le *ff*. Il peut, sans sourdine, produire six timbres différents de cette façon.

Le hautbois

Le hautbois est caractérisé par deux « formants » principaux à environ 1 200 Hz et

3 300 Hz bien que l'effet soit moins marqué qu'avec les autres instruments, son timbre change quand même un peu selon qu'il joue fort ou faible, mais avec une remarquable continuité dans le crescendo. Les droites moyennes sont singulièrement parallèles sur le diagramme ce qui traduit quantitativement l'impression qualitative de l'oreille d'un timbre égal.

Le cor anglais

Comme on peut le voir sur la figure, où les courbes s'enchevêtrent, il n'est pas possible de tirer des conclusions fructueuses de ces données. En effet même dans le **pp**, le cor anglais a un timbre chargé d'harmoniques, si bien que l'on peut dire de lui que c'est un des instruments qui change le moins de timbre en fonction de sa dynamique. L'aspect tourmenté des enveloppes montre également que la coloration des harmoniques subit d'importants changements selon les fréquences, ce qui confirme l'impression auditive à son propos.

Le basson

Le basson présente un important « formant » à 500 Hz dans son **pp** et son **mf**. La courbe du **ff** est bien plus horizontale avec un deuxième « formant » vers 1 100 Hz qui prend de l'importance avec le crescendo. Cette représentation du timbre n'est pas très réussie car on voit un taux d'accroissement anormal sur la courbe **mf**. Quoi qu'il en soit, c'est un fait connu par ailleurs que le basson n'a pas un **ff** très sonore et il est plus nuancé dans le **pp** et le **mf**. Son timbre change selon les registres.

La flûte

La flûte dans le **pp** présente un taux d'atténuation de la quantité d'harmoniques dès les plus basses fréquences. En clair, cela veut dire que le grave de la flûte a un timbre très particulier dans le piano (et aussi dans une moindre mesure dans le **mf**) qui va changer autour de 500 Hz. Dans le **ff** elle présente un taux d'accroissement très fort jusque vers 800 Hz puis la pente change de sens. Avec l'augmentation du niveau, on voit apparaître un « formant » important qui croît avec l'intensité ce qui charge l'aigu d'harmoniques quoique le taux d'atténuation soit à peu près constant. Ceci confirme ce que l'on connaît déjà sur la flûte : le timbre particulier et prenant de son grave (surtout dans le piano) et le fait qu'elle devient plus « dure » quand elle joue **ff** à mesure qu'elle grimpe vers l'aigu. Cela se voit aussi par le fait que la fréquence charnière est différente pour le **pp** et le **ff**. Ceci se produit d'ailleurs également avec le trombone (voir tableau).

Violon et alto

Ces deux cordes présentent des diagrammes qui se ressemblent. L'alto a un « formant » très large en fréquences que le diagramme ne montre pas très bien. Ces deux instruments présentent des taux d'accroissement et d'atténuation de modeste valeur, ce dernier trait étant très marqué dans le **ff** ; si bien que ces instruments se chargent quand même d'harmoniques à mesure que le niveau augmente, dans les fréquences relativement élevées. Le

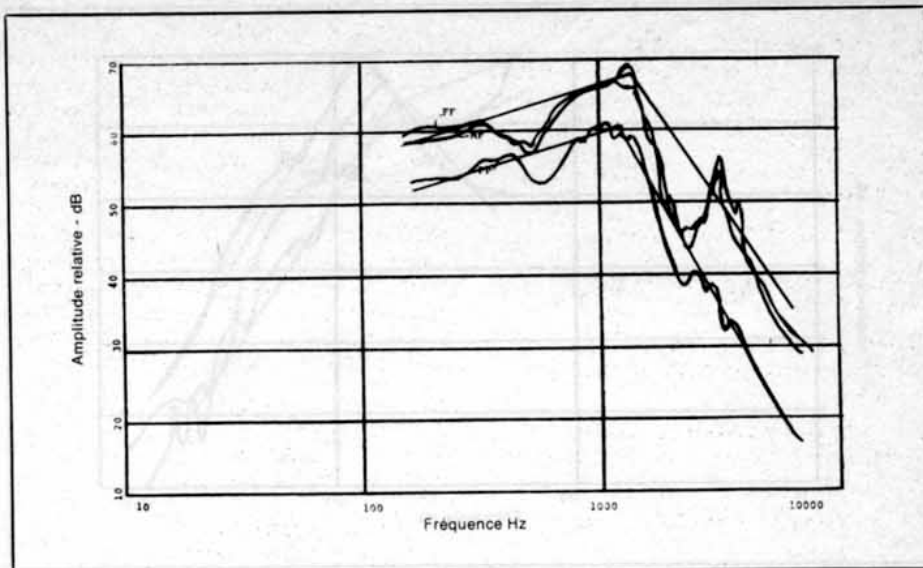


Fig. 5 : Enveloppe spectrale du hautbois

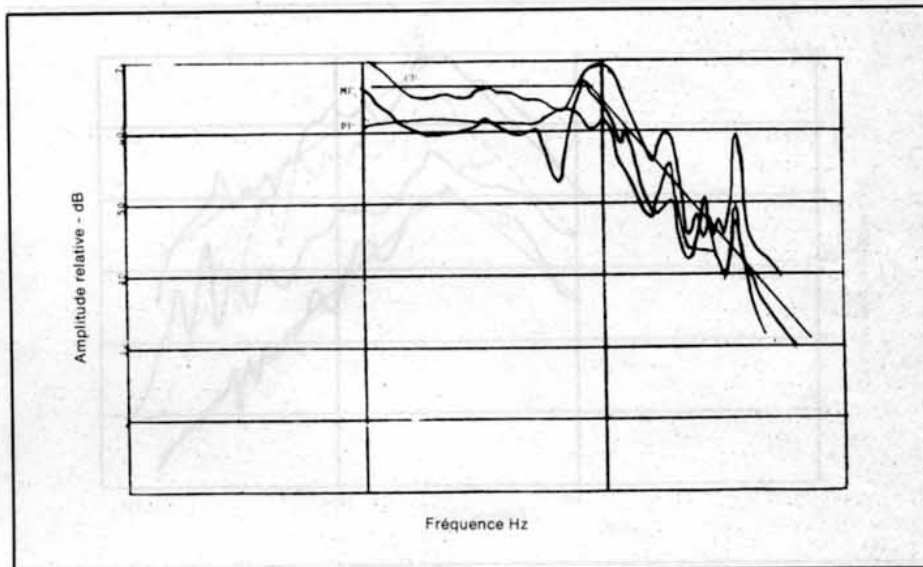
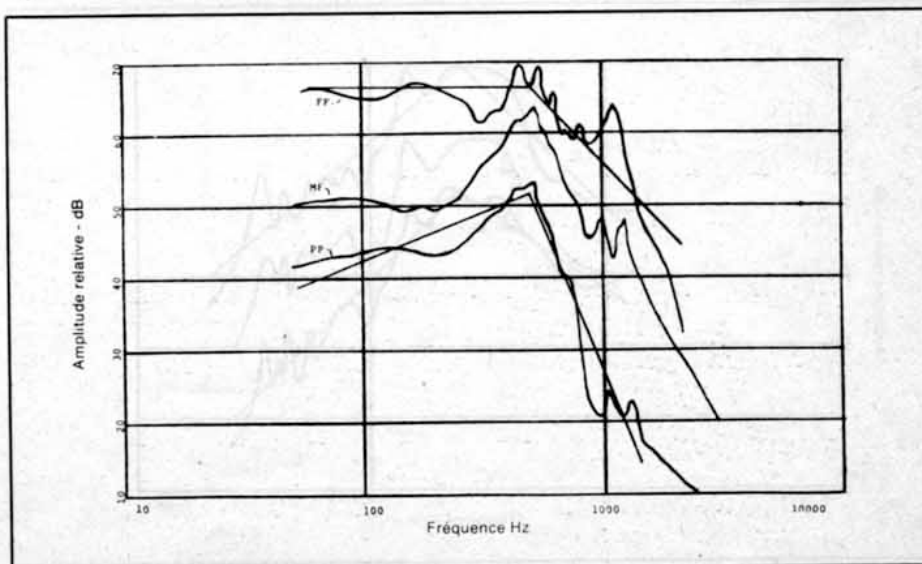


Fig. 6 : Enveloppe spectrale du cor anglais

Fig. 7 : Enveloppe spectrale du basson



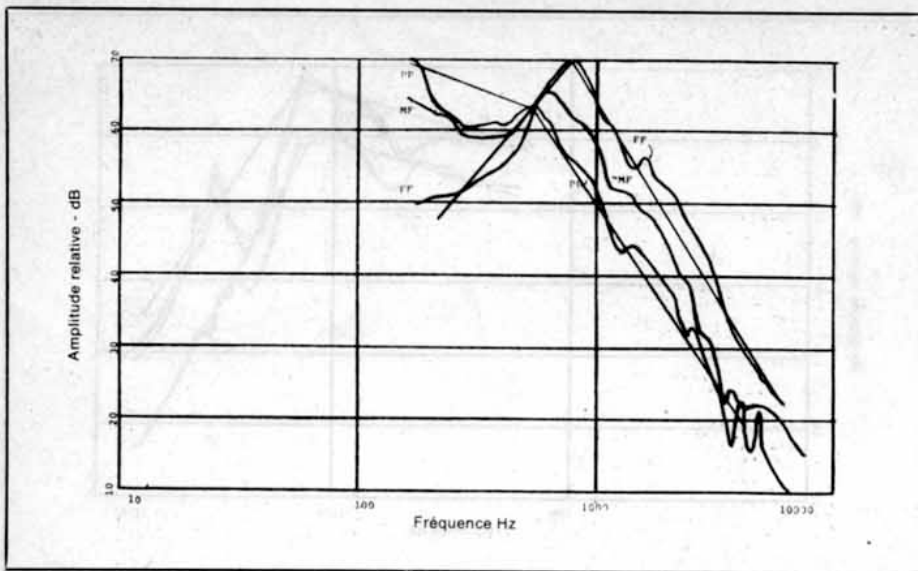


Fig. 8 : Enveloppe spectrale de la flûte

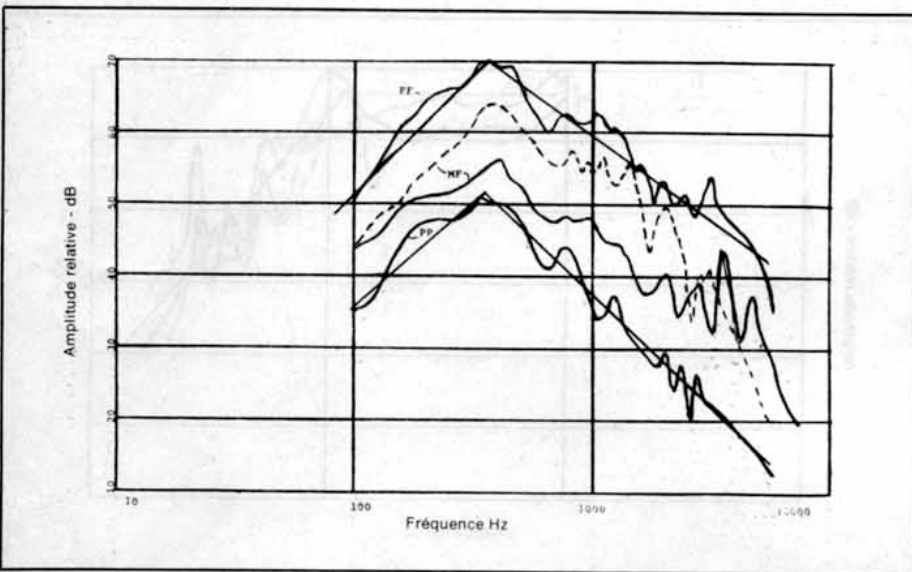
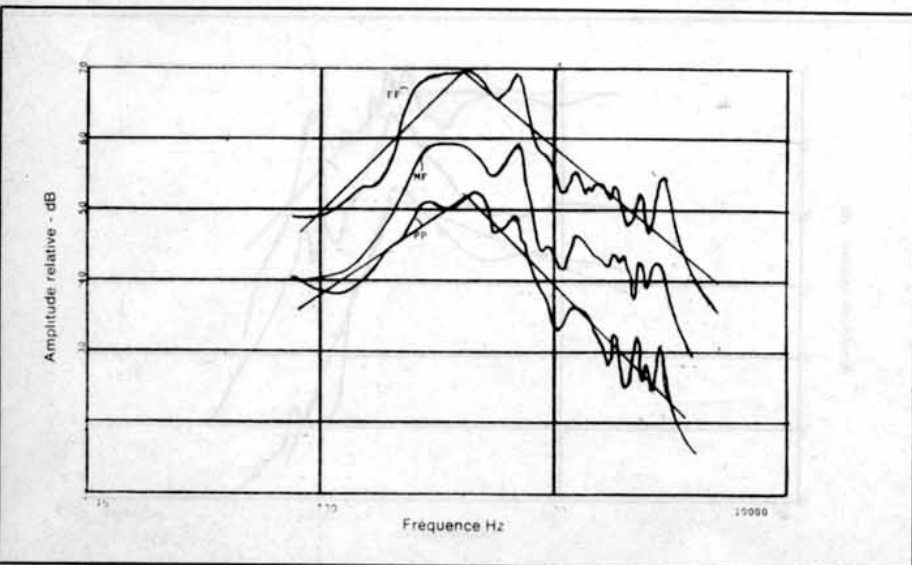


Fig. 9 : Enveloppe spectrale du violon

Fig. 10 : Enveloppe spectrale de l'alto



violin est connu pour conserver un timbre coloré même quand il joue dans son plus haut registre.

Violoncelle et contrebasse

Ces deux instruments présentent des taux d'atténuation qui ressemblent à ceux du violon et de l'alto, à la fois en valeur absolue et en taux de variation avec l'intensité. Le violoncelle présente, surtout dans le **ff**, un taux d'accroissement très fort, de telle sorte qu'un « formant » caractéristique apparaisse, alors qu'il n'y en a point dans le **pp**. On sait en effet que le violoncelle est très expressif ; malgré cela, les « cordes » changent plus progressivement de timbre que certains instruments à vent, dont le timbre change rapidement en une ou deux notes.

Conclusion

Tous les instruments présentent, sauf le basson qui est une remarquable exception, une coupure vers le grave qui varie comme l'intensité. De même, avec cependant l'exception de la flûte, tous les instruments présentent des taux d'atténuation dans l'aigu d'autant plus marqués que l'on joue faiblement. Ces deux effets reflètent l'augmentation relative du contenu en fréquences élevées du timbre de ces instruments lorsque le niveau augmente. Les taux vers le grave vont de 0 à 14 dB/octave, tandis que les taux vers l'aigu vont de 0 à 11 dB/octave. Etant donné la forte variation observée avec la dynamique ainsi que le fort taux d'accroissement (— 4 à 8 dB par octave) et le non moins fort taux d'atténuation (9 à 24 dB par octave), il est clair qu'il faudra disposer de fréquences de base variables et de filtres à pente variable également, pour simuler une synthèse d'un quelconque de ces instruments.

Dans un certain nombre de cas (trompette, trombone, cor, hautbois, flûte) les résultats du **ff** montrent une tendance à la domination de certains « formants » qui n'existent pas pour le **pp**.

Les cordes donnent des résultats très significatifs. Ce sont aussi les instruments présentant le plus de régularité. Plus ces instruments sont graves, plus basse est la coupure grave initiale et plus grandes sont les différences dans les aigus entre le **pp** et le **ff**.

Dans le tableau il est difficile de préciser la marge d'erreur des résultats fournis. Cependant ce sont des valeurs statistiques assez sûres, surtout celles des pentes d'affaiblissement vers le grave et vers l'aigu.

Dans l'ensemble on peut ajouter que ces observations confirment ce que l'on peut lire dans les traités d'orchestration où, cependant, les termes d'appréciation ne sont pas les mêmes. Il est toujours intéressant de confirmer par la mesure ce que l'on a déjà éprouvé dans une sensation sonore préalable.

d'après David A. Luce
Moog Music

Traduction F. Seyrig