

Culture

Recherche
Musique
et Danse

**SOURDINES
DES
CUIVRES**

Par
Benny SLUCHIN
et
René CAUSSÉ

Collection Rapports de la recherche

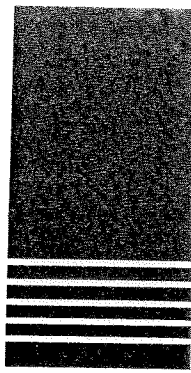
Maison des sciences de l'homme
Bibliothèque Eléments de catalogage avant publication
CAUSSE (René), SLUCHIN (Benny) - Les sourdines des instruments à vent /
René Caussé et Benny Sluchin. - Paris : Ed. de la Maison des sciences de
l'homme, 1991 - 60 pages ; ill. ; 29,7cm. (Recherche, musique et danse ; n°2).
Bibliogr. ISBN 2-7351-0435-4 ISSN en cours

©1991 Fondation de la Maison des sciences de l'homme
Saisie informatique : MSH / CCRDA
Conception et réalisation : CHREODE
Mise en page : MSH / CCRDA

LABORATOIRE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
Université Paris 6 - Case 161
4 Place Jussieu
F-75252 PARIS cedex 05

Localisation : 11 rue de Lourmel - 75015 Paris

L117



SOURDINES DES CUIVRES
Par Benny SUCHIN et
René CALSSE

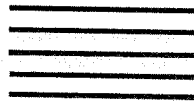
SOURDINES DES CUIVRES

Résumé

L'histoire de la sourdine en musique est retracée depuis les premiers exemples musicaux du XVI^e siècle. Les différents types de sourdines disponibles aujourd'hui sont décrits ainsi que les problèmes pratiques rencontrés lors de leur utilisation.

L'ajout de la sourdine au pavillon change les caractéristiques de ce dernier. Les différents facteurs de la sourdine (volume, degré de pénétration dans le pavillon, matériaux, etc.) affectent le comportement de l'instrument, comme le fonctionnement (parfaitement décrit par la courbe d'impédance d'entrée), la couleur sonore et le rayonnement.

Les résultats de cette étude ainsi que l'utilisation d'un programme de conception assistée par ordinateur ont permis de concevoir de nouveaux modèles de sourdines, comme par exemple une sourdine wawa pour le cor.



Abstract

The history of the mute in music is traced from the first written examples of the 16th century. The different types of mutes available today are described and practical problems encountered while using them are discussed.

The insertion of a mute in the instrument's bell changes its characteristics by modifying its impedance resonance curve. Different factors of the mute (volume, degree of penetration in the bell, construction materials etc.) affect the instrument's behavior, tone colour and sound radiation.

The results obtained, together with a computer aided design program enabled the conception of new mute models.



Le présent fascicule contient les résultats de notre travail effectué à l'Institut de recherche et de coordination acoustique/musique (IRCAM ; 31, rue Saint-Merri, 75004 Paris). La deuxième partie de notre travail, concernant le développement de nouvelles sourdines, a été effectuée de mars 1986 à août 1988 avec le soutien du Ministère de la Culture. Une partie de ce travail a été exposée publiquement lors d'une réunion du GAM (Groupe d'acoustique musicale de l'université Paris-VI).

Nous remercions :

Jean Kergomard (Laboratoire d'acoustique, université du Maine), qui a conçu le programme Résonance. **Xavier Meynial**, qui a adapté ce programme aux systèmes personnels. **Michel Ducourau**, responsable de l'atelier mécanique de l'IRCAM, qui a réalisé les prototypes. **Jean-Jacques Gaudon, Jens McManama, Gérard Buquet**, qui ont contribué aux expériences et nous ont prêté leurs sourdines et leurs instruments. **Drora Spitz** pour les photographies des sourdines figurant en première partie. Enfin, nous tenons à dédier cet ouvrage à **Arthur H. Benade**, qui dès l'origine de cette étude nous a mis sur la bonne voie par ses nombreux conseils.

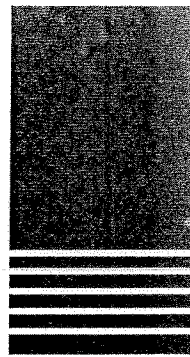
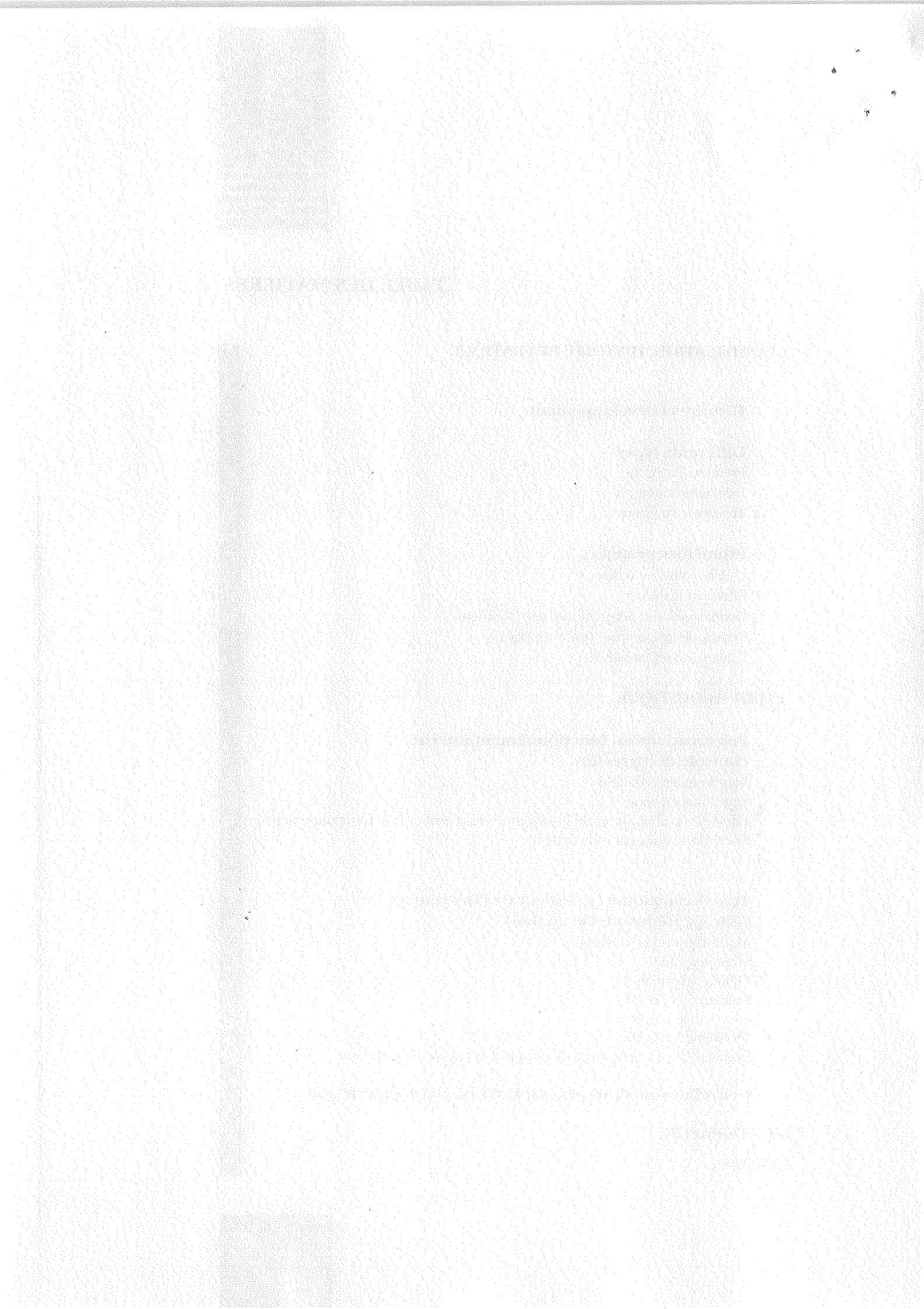


TABLE DES MATIERES

CLASSIFICATION, HISTOIRE ET PRATIQUE	1
Histoire et développement	2
Différents types	4
Première catégorie	6
Deuxième catégorie	10
Troisième catégorie	13
Problèmes pratiques	15
Quelle sourdine utiliser ?	15
Effets du matériau	16
Connaissance et adaptation d'une sourdine	17
Temps de préparation (mise en place)	18
Limites-incompatibilités	21
ETUDE ACOUSTIQUE	22
Perturbations du fonctionnement interne, contrôle et correction	23
Sourdines en parallèle	25
Sourdines en série	29
Effets des matériaux et de la vibration des parois sur le fonctionnement	30
Contrôle et correction des effets	31
Transformation à l'extérieur de l'instrument (filtrage fréquentiel et spatial)	34
Modification des transitoires	35
Filtrage spatial	36
Filtrage fréquentiel	39
Première catégorie	40
Deuxième catégorie	43
Troisième catégorie	43
Variation de ces transformations selon la famille d'instrument	46
Nouvelles sourdines, exemple d'une wawa pour le cor	49
BIBLIOGRAPHIE	56
FIGURES	58





1 CLASSIFICATION, HISTOIRE ET PRATIQUE

Introduction

Les sourdines des cuivres (à la différence de celles des instruments à cordes) ont connu un développement considérable au cours du xx^e siècle. Des modèles très variés sont apparus dans la panoplie de chaque instrument de la famille des cuivres mais cependant de façon inéquitable.

L'effet musical des sourdines est double, il consiste à modifier le timbre du son instrumental perçu mais également son intensité (ou volume sonore). Pour les cuivres ces deux effets sont indissociables, agir sur le timbre revenant à agir sur le volume sonore ; il en est de même lorsque l'on passe d'un jeu d'intensité fort à un jeu pianissimo : voulant modifier le volume, on modifie aussi le timbre. L'utilisation des sourdines étend donc la gamme des sonorités et des possibilités expressives de ces instruments.

N'importe quel objet, mouchoir ou main de l'instrumentiste, inséré dans le pavillon modifie le rayonnement (réflexion et directionnalité) à l'extrémité de l'instrument, provoquant ainsi une modification des résonances du tube et de la réaction sur les lèvres du musicien. Le fonctionnement acoustique en est alors modifié. Les sourdines ne doivent pas, en principe, modifier de façon sensible les sensations ressenties par l'instrumentiste : la justesse et la réponse de l'instrument. Cependant, dans la grande variété de modèles, il en existe certaines qui par leur forme, volume, fermeture du pavillon ou leur matériau, perturbent partiellement (sur une note, un registre ou plus) la justesse et la réponse de l'instrument, nécessitant ainsi quelques précautions d'utilisation.

Les objectifs de ce travail, réalisé à l'Institut de recherche et de coordination acoustique/musique (IRCAM) sur une période de deux ans, étaient :

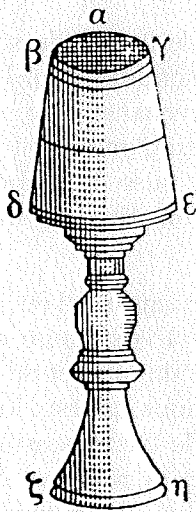
- de faire mieux connaître les possibilités d'utilisation des sourdines ;
- de décrire les phénomènes acoustiques mis en jeu et permettre ainsi une meilleure compréhension du fonctionnement ;
- de proposer des améliorations aux sourdines « difficiles » à l'émission ;
- de proposer des nouveaux modèles.

Dans cette première partie, nous présenterons les différents modèles existants pour toute la famille des cuivres et les problèmes pratiques liés à leur utilisation, illustrés par des exemples de la littérature.

Dans la deuxième partie nous aborderons les problèmes acoustiques liés à l'utilisation de la sourdine, c'est-à-dire la modification du fonctionnement de génération sonore, la transformation du rayonnement et du spectre sonore émis et donnerons des solutions pour améliorer certains défauts. Enfin nous analyserons la démarche à suivre pour créer de nouveaux modèles.

Histoire et développement

L'utilisation de la sourdine pour la trompette remonte, à notre connaissance, au début du XVII^e siècle. Marin Mersenne dans son *Harmonie universelle* de 1636 en donne la description et l'illustration suivante :



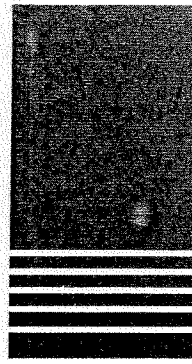
« ... la sourdine, qui est ordinairement faite d'un morceau de bois, que l'on met dans le pavillon de la trompette, afin qu'elle la bouche tellement qu'elle en diminue et en assourdisse les sons ».

« α, β, γ, δ, ε montrent le côté que l'on pousse dedans, et ζ, η signifient l'autre bout, par lequel on la tient en la poussant dedans ledit pavillon : quoique l'on puisse user d'autres inventions pour diminuer et empêcher la violence et l'éclat de la trompette en bouchant une partie de son ouverture. Or l'on use de cette sourdine, quand on ne veut pas que la trompette s'entende du lieu où sont les ennemis, comme il arrive au siège des villes et lorsque l'on veut déloger. Mais il est difficile de savoir de combien la sourdine diminue le son, car l'on peut seulement dire qu'il est d'autant plus faible qu'il s'entend de moins loin... Or il faut remarquer que cette sourdine est percée tout au long depuis la bouche a jusqu'à la patte ζ, η... »

Si Mersenne ne mentionne pas l'effet sur la justesse de l'instrument d'une telle sourdine, on trouve cependant dans la littérature musicale de l'époque des avertissements sur les précautions à prendre lors de son emploi ; ainsi Claudio Monteverdi dans la brève toccata qui précède le prologue de son opéra *Orfeo* (1607) précise que « ...si l'on désire que les trompettes jouent avec sourdines, la toccata devra être jouée un ton plus haut ».

Ce n'est que bien plus tard, dans les partitions de Mozart (ref. Crown), que l'on retrouve l'utilisation de la sourdine pour les trompettes. Une introduction historique plus détaillée se trouve dans l'article d'Osthoff (voir ref.).

Pour le cor, l'usage des sourdines remonte bien avant 1750. Les premières utilisations devaient consister probablement en effets d'écho pour les solistes (R. Morley-Pegge, p. 136) ; cependant on peut noter que Beethoven dans son *Rondino en mi bémol majeur pour huit instruments à vent* opus posthume (1785-1790) en fait une utilisation différente :



SOURDINES DES CLARINETTES
Par Benny SLOTHIN et
René CALSSE



Fig. 1 : Beethoven - *Rondino*.

de même que Weber dans son premier *Concerto pour clarinette* (1811) :



Fig. 2 : Weber - *Concerto pour clarinette*.

Nous ne parlerons pratiquement pas, ici, de la technique qui consiste à introduire la main dans le pavillon (*band horn technique*). Si à l'origine elle ne devait être utilisée que pour étouffer quelque peu le son de l'instrument, elle donna très vite naissance à la technique du « bouchage », permettant ainsi l'émission de notes complémentaires de celles de la série des partiels de l'instrument seul. Cependant des questions se posent : à cette époque s'il n'y avait que le cor naturel en usage (les pistons ne furent inventés par Blümel qu'en 1813), comment était-il possible de manipuler la main pour obtenir toutes les notes, une fois la sourdine insérée ? S'agissait-il d'une correction ultérieure ? Existait-il une sourdine non « transpositrice » permettant la manipulation de la main ?

Debussy et Wagner ont souvent fait usage de la coloration sonore, bien particulière, du cor et de la trompette avec sourdine ; après eux l'utilisation de la sourdine pour le trombone et le tuba s'est répandue : *Don Quichotte* de Richard Strauss, *Le Mandarin merveilleux* de Bartók ou *Petrouchka* de Stravinski en sont de bons exemples. Au début du xx^e siècle, l'Ecole de Vienne fait grand usage des cuivres en sourdine, Webern « *n'utilisait les cuivres que très rarement sans sourdine, car le poids d'un instrument sans sourdine aurait fait crouler son groupe* ». (Ref. Boulez.)

A partir des années vingt, le développement du jazz a donné un nouvel élan à la recherche de nouveaux timbres. Ainsi, la trompette et le trombone ont été le terrain de multiples essais de modification du timbre avec des objets de toute sorte comme le débouche-lavabo, la boîte à sucre ou le chapeau, qui ont conduit à une prolifération de modèles de sourdines (Ref. Laplace, Nicols, Sloan).

Aujourd'hui la situation est telle qu'il n'est plus possible à la simple mention « sourdine » d'exister, d'où la nécessité d'une description complète des différents modèles existants et de leurs effets.

Différents types

La trompette et le trombone ont un grand choix de sourdines à leur disposition ; ce n'est pas le cas pour le cor, encore moins pour le tuba. La raison principale vient du fait que la transposition des modèles d'un instrument à un autre n'est pas évidente ; en effet, s'il existe de grandes similitudes entre le rôle acoustique du pavillon de la trompette et du trombone, et donc entre leurs différents modèles de sourdines, ce n'est plus le cas entre la trompette et le tuba pour lequel l'évasement de la perce s'étend sur la plus grande partie de l'instrument et non plus seulement sur la partie terminale. Pour le cor, il faut ajouter au problème de l'évasement continu celui de l'introduction de la main.

Sur les photos suivantes est représenté l'ensemble des modèles courants de sourdines commercialisées que nous décrivons plus loin. Bien souvent il est possible de rencontrer des variantes autour de ces modèles, variantes sur la forme, variantes sur les matériaux utilisés (bois, carton, métal, plastique, fibre de verre...) ou sur les procédés de construction (collage, emboutissage, moulage...).

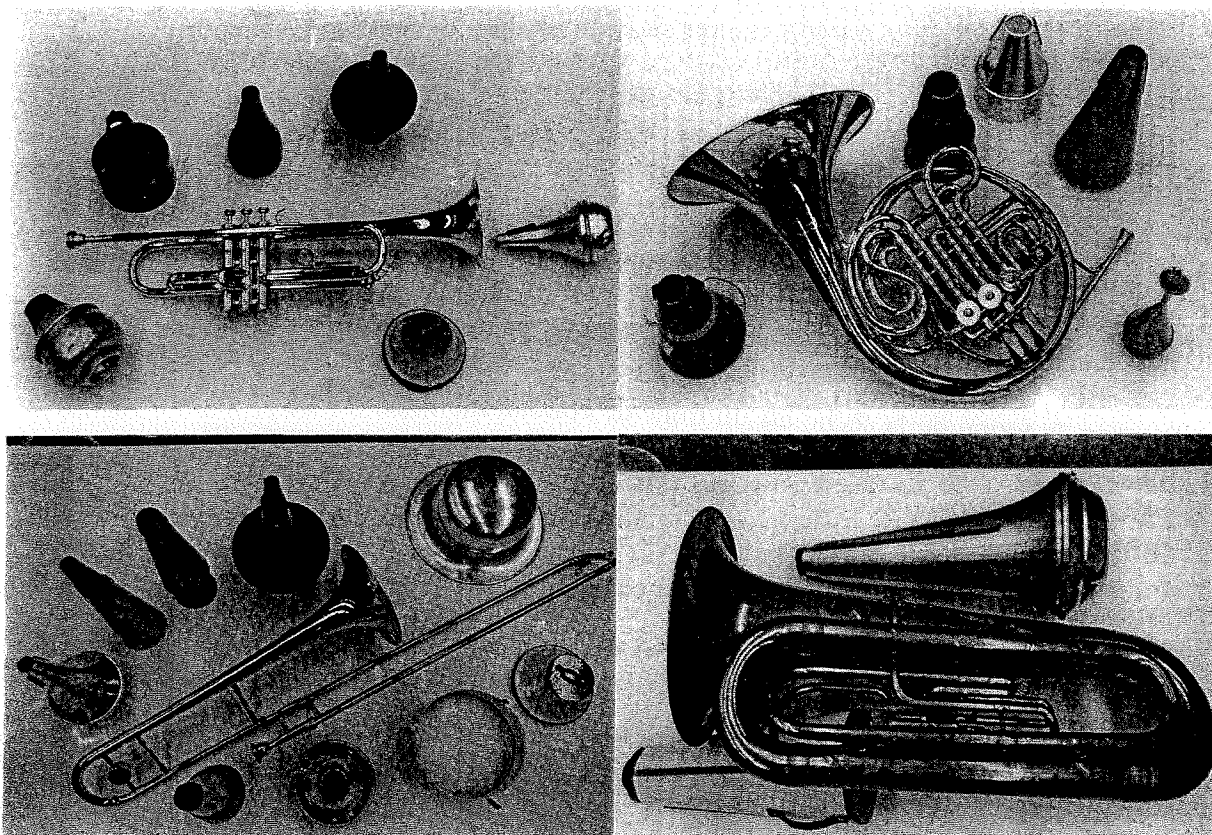


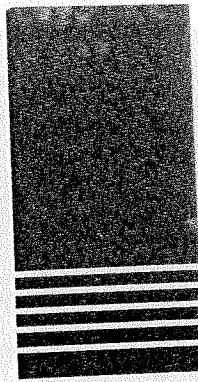
Fig. 3 : les cuivres avec leurs sourdines.

Nous avons classé les sourdines selon leur mode de fixation au pavillon ; il en résulte trois catégories.

1) catégorie de sourdines fixées à l'intérieur du pavillon :

- fixation par des lames de liège qui préserve un passage entre l'intérieur du pavillon et l'extérieur de la sourdine [sourdine sèche (straight)].
- fixation par un anneau de liège qui obstrue totalement le pavillon ; la sourdine est percée tout le long et remplace la partie aval du pavillon [sourdines wawa, solotone, whisper, son bouché].

2) catégorie de sourdines tenues contre le pavillon, soit par la main [plunger], soit directement accrochées [bucket, felt hat], soit fixées sur un pied [derby ou chapeau (hat)].



SOCIÉTÉ ROYALE DES CUIVRES
Par Béatrice SUCHIN et
René CAUSSE

3) catégorie constituée de la combinaison des deux catégories précédentes. Il en résulte soit une seule sourdine [sourdine bol (cup mute)], soit un couplage entre deux modèles [petite sèche + plunger ou solotone + chapeau par exemple].

Première catégorie

Sourdine sèche (straight mute) : c'est la sourdine la plus couramment utilisée et que l'on choisit systématiquement lorsque n'est mentionné que « con sord. » ; elle est la seule à exister pour tous les instruments de la famille et en divers matériaux.

A l'origine, la forme de la sèche est un tronc de cône fermé au bout large (s2). Enfoncée aux trois quarts dans le pavillon, elle respecte certaines proportions par rapport à ce dernier pour ne pas perturber le fonctionnement de l'instrument. Le métal et les matériaux synthétiques (ou composites) ont permis de créer des formes plus complexes (s1 ou s3) ainsi que des formes très douces et lisses (s4), voisines de celle du pavillon.

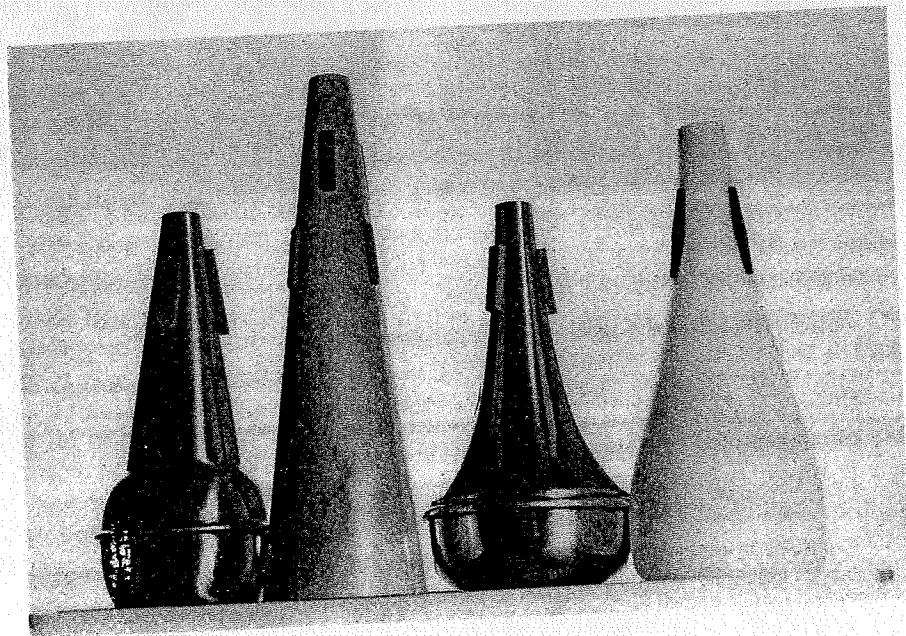
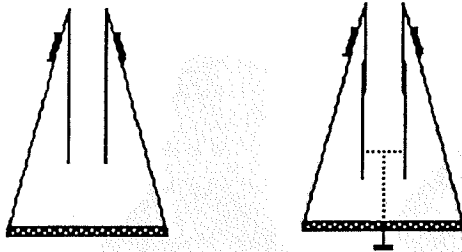


Fig 4 : sourdines sèches de différents matériaux

Les sourdines sèches pour le cor ont des réglages plus sophistiqués que celles des autres instruments car avec les sourdines actuelles il n'y a pas de place pour la main, partie intégrante du pavillon, comme nous l'avons déjà

mentionné. Deux systèmes de réglage supplémentaires sont proposés :

- tube à l'intérieur de longueur généralement réglable ;
- lames de liège de fixation mobiles permettant d'ajuster facilement l'enfoncement de la sourdine dans le pavillon.



Remarque :

Il existe sur certaines sourdines sèches des bagues au niveau du col. Indispensables pour l'assemblage des sourdines en carton ou en bois, ces bagues, aux longueurs très variables, réglables comme pour le cor, jouent un rôle de correcteur acoustique important comme nous le verrons dans la partie acoustique.

Fig. 5 : sourdines sèches pour cor (coupe longitudinale).

Sourdine wawa ou harmon : c'est un des résultats des recherches des jazzmen dans les années vingt ; créée par T. Harmon dans le but d'imiter la « plunger », elle a fait son apparition dans l'orchestre symphonique avec Gershwin (*Rhapsody in Blue*, 1924).

Bb Trumpet

Trombone

wawa mute
1 solo

3

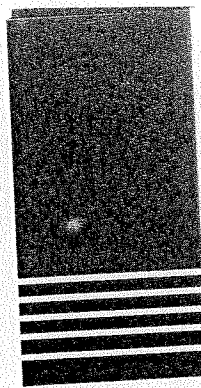
wawa mute
1 solo

rit.

3

Fig. 6 : Gershwin - *Rhapsody in Blue*.

Dans la partie centrale et cylindrique de la structure principale (ou corps), coulisse un tube (stem) terminé par un petit bassin (ou « cookie cutter », amovible jusqu'en 1950, et fixé de nos jours au tube coulissant) que l'on peut



éventuellement ôter. Les possibilités de transformation du timbre et de l'intensité sonore sont multiples selon l'enfoncement du stem par rapport à la structure principale. De plus, il est possible, en alternant ouverture et fermeture avec la main, d'obtenir des transitions de voyelles, notamment de passer de la voyelle *u-oo* à la voyelle *a-aa* (d'où l'origine du nom « wawa »). Cet effet n'est pas spécifique de cette sourdine comme nous le verrons par la suite.

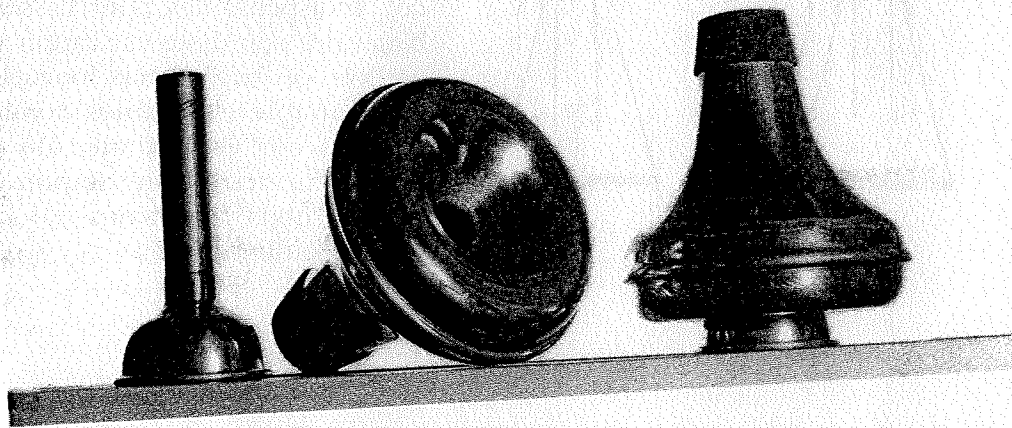


Fig. 7 : stem, partie principale et wawa complète.

Le nom « harmon » est utilisé parfois pour décrire une sourdine « wawa » sans le tube mais nous préférons utiliser la notation suivante, plus précise :

wawa + tube à moitié sorti (half extended)

wawa + tube sorti (fully extended)

wawa sans tube (without tube)

et pour noter la position de la main sur le petit bassin de la sourdine :

+ pour fermé

o pour ouvert

⊕ pour complètement fermé (parfois)

+.....o pour le passage fermé-ouvert.

D'autres systèmes de notation seront discutés à la suite pour la sourdine « plunger ».

Sourdines de type mega (clear tone, solotone, mel-o-wah) : ces sourdines sont très voisines de la wawa par la fixation sur le pavillon et la présence d'un tube intérieur mais ici la forme est généralement tronconique et le tube est immobile. Les appellations peuvent varier selon les facteurs.

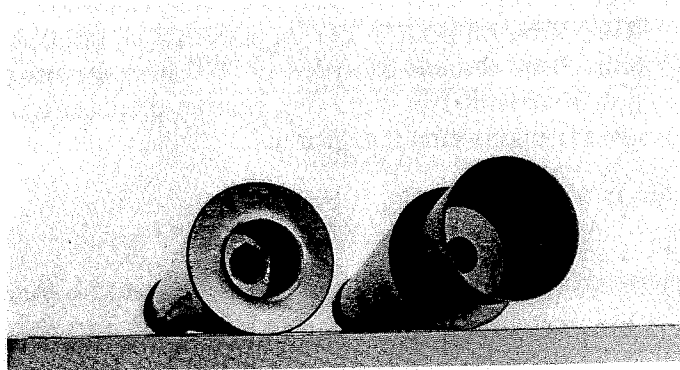
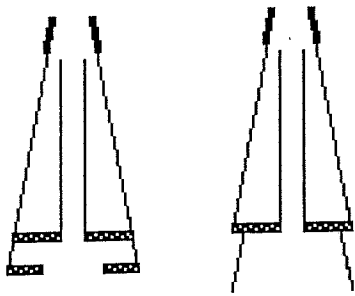


Fig. 8 : sourdines de type mega.

Sourdine « silencieuse » (whisper mute, practice mute) : c'est la sourdine qui de par ses chicanes acoustiques atténue le plus le son ; elle a été probablement créée pour ne pas trop perturber le voisinage lors des séances de travail. Sa forme est très proche de celle du type mega dont on aurait couvert la partie terminale, rempli la cavité ainsi créée de matériaux absorbants et percé cette dernière de petits orifices. Il existe des variantes, comme celle obtenue à partir d'une sourdine sèche dont on a remplacé les lames de liège par un anneau et ouvert de petits orifices ou celle, toute simple, créée à partir d'un sac en plastique attaché sur le pavillon.

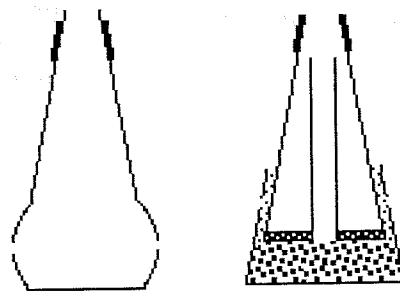
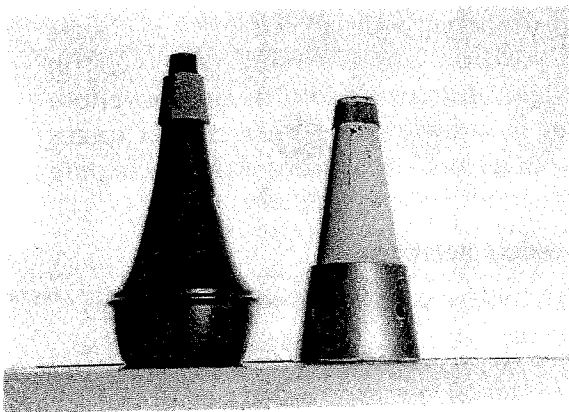


Fig. 9 : sourdines silencieuses (whisper mutes).

Sourdine de son bouché (stopped mute) : créée pour remplacer la main du corniste, elle facilite l'émission sonore du registre grave et permet de standardiser le timbre sur tout le registre. Mais, tout comme la main, l'emploi de la sourdine oblige à transposer. Cette transposition n'est pas constante sur tout le

registre, cependant on peut l'estimer à un demi-ton pour le cor en fa et à plus d'un demi-ton pour le cor en si bémol ce qui oblige à utiliser un piston correcteur. Pour certains modèles de cor il existe un piston supplémentaire (mi-la) qui, abaissant d'un demi-ton, permet d'utiliser cette sourdine (ou l'effet bouché avec la main) sans transposer.

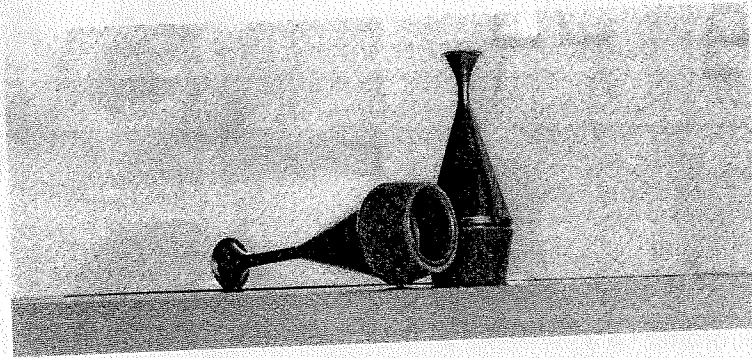


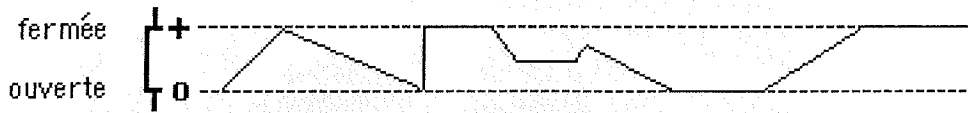
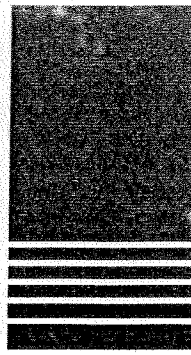
Fig. 10 : sourdine de son bouché.

Deuxième catégorie

Sourdine plunger : à l'origine c'est un débouche-lavabo en caoutchouc ; il en existe aujourd'hui, de différentes formes en métal, plastique ou fibre. La plunger est tenue par la main et permet d'obtenir, pour la première fois, toutes les positions intermédiaires entre un pavillon complètement ouvert et un pavillon complètement fermé (ou bouché). Obstruer plus ou moins l'ouverture du pavillon influe sur la justesse et oblige l'instrumentiste à corriger, avec toutes les conséquences que cela comporte, comme nous le verrons dans le chapitre Problèmes pratiques.

Pour indiquer ces positions, il existe plusieurs notations :

- soit comme pour la wawa :
 - o pour ouvert
 - + pour fermé
 - ⊕ pour complètement fermé (parfois)
 - +.....o et o.....+ pour la transition ;
- soit une ligne continue, représentant les mouvements de la plunger, entre deux droites parallèles représentant l'ouverture et la fermeture totale du pavillon [Berio - *Sequenza V* (1966)] :



- soit une notation qui utilise des voyelles pour représenter l'état de l'ouverture des voyelles [Stockhausen - *Michaels Gruss* (1978)].

Cette notation demande un apprentissage assez long pour reproduire parfaitement les voyelles indiquées.

[a] = complètement ouvert
[ə]
[ɒ]
[ɔ]
[o]
[u]
[u] = complètement fermé
[u-a], [ɔ-u], etc. = passage continu
[ɔ o u], etc. = changement brusque

- soit un système graphique à base de cercles dont le degré de noir représente le degré de fermeture [Gehlhaar - *Camera Obscura* (1978)] :



L'utilisation de la plunger pour la trompette et le trombone nécessite une technique spéciale de la main gauche, pour ce dernier la paume de la main doit aussi soutenir le pavillon.

On peut aussi employer la plunger comme un instrument de percussion en la frappant contre le pavillon.

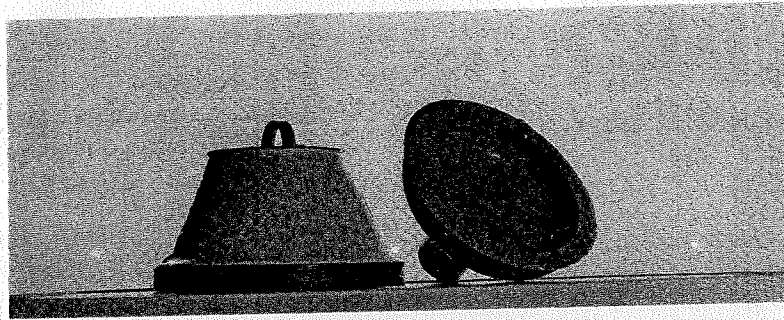


Fig. 11 : plunger.

Sourdine derby ou chapeau (hat) : en fibre ou en métal, la derby offre les possibilités de la plunger ; cependant sa manipulation est assez délicate, spécialement pour le trombone. Il est alors possible de la monter sur pied ce qui, bien que réduisant la vélocité de l'ouverture (o) et de la fermeture (+), offre une nouvelle possibilité, le balayage par le pavillon de l'espace situé de part et d'autre de l'axe de la sourdine.



Fig. 12 : derby, chapeau (hat).

Sourdine bucket ou velvet : c'est en quelque sorte une derby remplie de matériaux absorbants et fixée par des crochets devant le pavillon. Pour une bonne efficacité, son diamètre doit correspondre à celui du pavillon. Son poids et son encombrement rendent toujours la mise en place longue et difficile.

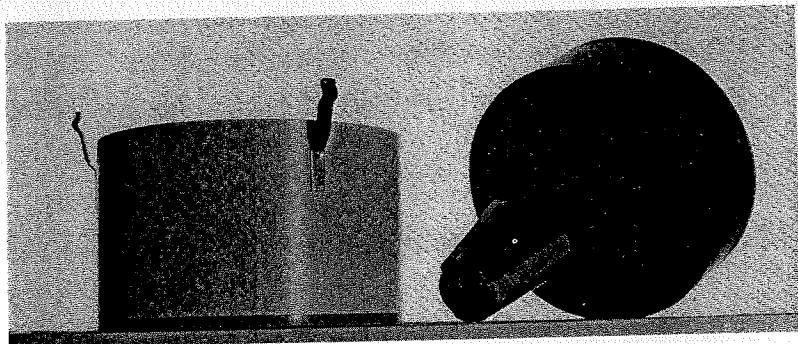
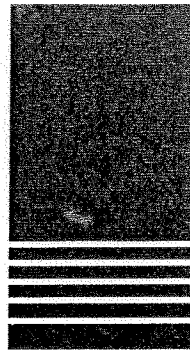


Fig. 13 : sourdine bucket ou velvet.



La fixation peut varier selon les modèles. Il en existe aujourd'hui qui prennent appui non pas sur le pavillon mais à l'intérieur ; ces modèles, en fibre ou en métal, sont plus faciles à manier et réduisent le temps nécessaire aux changements.

Sourdine felt hat : c'est un rond de feutre percé de quelques trous et fixé au pavillon par un élastique. L'effet de cette sourdine est équivalent à celui du mouchoir ou du morceau de tissu que l'on place sur ou parfois dans le pavillon.

Il existe aussi des modèles avec des matériaux absorbants à la place du feutre et qui se rapprochent beaucoup plus de la sourdine silencieuse.

Troisième catégorie

Sourdine bol (cup mute) : croisement de la sèche avec la plunger. Sur les premiers modèles, le bol était solidaire du corps de la sèche, rendant très délicat le réglage de la fermeture du pavillon par le bol. En effet, seule la diminution de l'épaisseur des lames de liège de fixation de la sourdine permettait d'ajuster cette fermeture, tout en modifiant l'enfoncement du corps dans le pavillon. Aujourd'hui ces deux éléments sont souvent désolidarisés, ce qui a pour conséquence de rendre l'utilisation de la sourdine plus souple et de multiplier les effets musicaux.

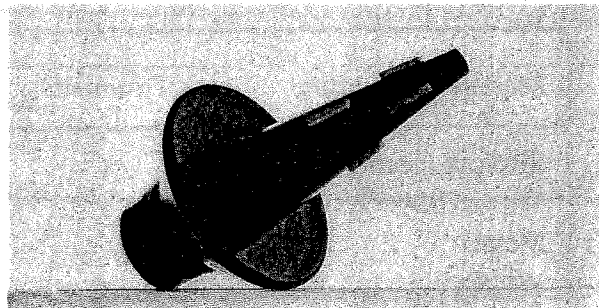


Fig. 14 : sourdine bol (cup mute).

Sourdine buzz-wow: c'est aussi un croisement mais cette fois le bol est fixe alors que le fond du corps de la sourdine est percé de trois trous obstrués par du papier fin. Le son nasillard, caractéristique de cette sourdine, provient de la superposition de la vibration du papier et de la transformation du son par le corps de la sourdine.

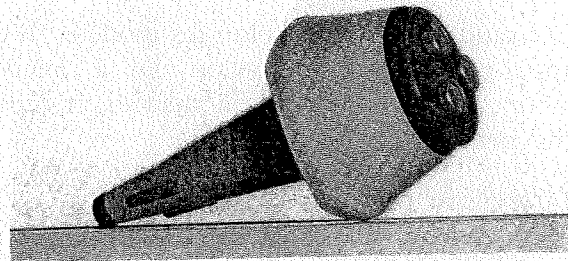


Fig. 15 : sourdine buzz-wow.

Sourdines combinaisons : celles qui résultent de la combinaison de sourdines appartenant aux deux catégories précédentes. Toute combinaison est en principe possible, par exemple :

Petite sourdine sèche + plunger : couramment utilisée dans le jazz, cette combinaison nécessite, pour ne pas gêner la manipulation de la plunger, une petite straight qui ne dépasse pratiquement pas du pavillon ; cela n'est pas sans poser d'énormes problèmes de fonctionnement liés à l'insuffisance du volume de la straight, comme nous le verrons dans la deuxième partie.

Derby + X : le chapeau peut se combiner avec toutes les sourdines de la première catégorie (straight, wawa, etc.).

Le tableau ci-dessous nous permet de connaître les modèles disponibles pour les différents instruments de la famille des cuivres, au moment où cet article est écrit.

Modèle de sourdine	Trompette	Trombone	Cor	Tuba
Straight (sèche)	+	+	+	+
Wawa (harmon)	+	+		
Mega	+	+		
Whisper	+	+	+	
Son bouché			+	
Plunger	+	+		
Derby	+	+		
Bucket (velvet)	+	+		
Felt hat	+	+		
Cup (bol)	+	+	+	
Buzz-wow	+	+		

Fig. 16 : disponibilité des sourdines.

Problèmes pratiques

Il nous a semblé indispensable de porter à la connaissance aussi bien de l'instrumentiste que du compositeur les différents problèmes pratiques liés à l'utilisation des sourdines afin que le choix soit plus rationnel et plus diversifié.

Quelle sourdine utiliser ?

Dans le tableau suivant nous avons regroupé toutes les indications, en quatre langues, utilisées pour les sourdines.

Français	Italien	Anglais	Allemand
Sourdine	Sordina Sordino	Mute	Dämpfer
Avec sourdine Mettre la sourdine	Con sordina Mettere sordina	With mute Take mute	Mit Dämpfer
Enlever la sourdine Oter la sourdine Sans sourdine Ouvert	Via sordina Senza sordina	Open	Ohne Dämpfer Dämpfer weg
Bouché	Fermata Chiuso	Stopped	Gestopft Gedämpft

Fig. 17 : indications concernant les utilisations de sourdines.

Quand le type de sourdine n'est pas précisé dans la partition, c'est normalement la sèche qui est choisie. Si l'on veut obtenir un résultat musical bien défini, il est préférable de noter la sourdine ou le type de sourdine, ou à la rigueur les effets recherchés, que d'employer des adjectifs vagues tels que *soft* (« doux ») ou *hard* (« rugueux ») qui laissent toutes sortes d'interprétations possibles.

Un système symbolique permettant un gain de temps, à la lecture, par rapport à un système de notation littéraire serait à développer pour l'emploi des sourdines. Nous proposons un système du type :



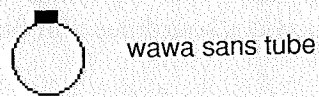
sèche



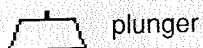
wawa



bol



wawa sans tube



plunger



velvet (bucket)

Une autre solution pourrait être un code comme celui utilisé par Stockhausen par exemple :

- Ⓜ wawa sans tube (harmon)
- Ⓦ wawa
- Ⓒ bol
- ⓕ whisper
- Ⓜ mega (mel-o-wah)
- Ⓢ sèche
- Ⓟ plunger
- ∅ ouvert

Effets du matériau

La sourdine, de par sa forme et sa position par rapport au pavillon (enfouissement, éloignement), transforme le timbre et l'intensité sonore du son émis. La nature de cette transformation dépend également de la nuance de jeu, comme nous l'avons déjà mentionné dans l'introduction, mais aussi du matériau. En effet, à forme et volume égaux, mais à matériaux différents, il existe dans la transformation une différence due à la vibration des parois, principalement du fond dans le cas de la sèche. Cette vibration, deuxième source sonore, vient alors interférer avec la première. Si cette vibration est trop grande, elle peut perturber le fonctionnement jusqu'à la destruction de l'oscillation, c'est-à-dire l'impossibilité d'émettre la note. Nous analyserons de plus près ces phénomènes dans notre deuxième partie, ici nous ne parlerons que du choix du matériau lors de l'interprétation.

Lorsque des ambiguïtés existent dans le choix du matériau, l'instrumentiste ou le chef d'orchestre doivent pouvoir y répondre selon leurs connaissances mais aussi leurs goûts ; si Webern dans ses pièces *Opus 10* (1913) et Varèse dans *Intégrale* (1925) ou *Octandre* (1924) notent l'emploi d'une sèche, nous ne pensons pas qu'un même modèle puisse répondre à ces deux demandes, vu le caractère très différent de cuivres dans ces deux œuvres.

Il peut arriver également que l'instrumentiste ne puisse pas satisfaire les exigences du compositeur, soit qu'il n'ait pas à sa disposition le modèle, soit que ce modèle n'existe plus. L'interprète doit pouvoir, alors, proposer une ou des solutions de remplacement. C'est le cas par exemple pour le *Concerto pour orchestre* où Bartók demande une sourdine en carton (« *always use a soft cardboard mute* »), probablement la seule disponible à cette époque et introuvable aujourd'hui sauf sous une version, très différente, en carton goudronné.

La question de l'uniformité de timbre peut parfois se poser à l'orchestre pour un pupitre de cuivres avec sourdines ; par exemple, dans le passage suivant du *Mandarin merveilleux* (1919) de Bartók pour les trombones :

Fig. 18 : Bartók - *Le Mandarin merveilleux*.

L'utilisation de la même marque de sourdine pour tout le pupitre peut être parfois exigée, car les différences entre les diverses marques sont parfois grandes.

Connaissance et adaptation d'une sourdine

Les instrumentistes professionnels connaissent suffisamment bien leurs sourdines pour être en mesure de contrôler les défauts d'intonation qui apparaissent soit sur tout le registre, soit ponctuellement sur une ou deux notes

graves comme c'est le cas avec la straight ou la wawa par exemple.

Les sourdines qui sont insérées dans le pavillon, comme la straight, la wawa ou la bol, nécessitent un ajustement de la position et de l'épaisseur des lames ou de l'anneau de liège. Cet ajustement, qui détermine le degré de couplage entre la sourdine et le pavillon, n'est pas définitif car à la longue le liège se tasse, modifiant l'enfoncement de la sourdine dans le pavillon, et donc ses effets. Les premières résonances de l'instrument sont généralement modifiées par la présence de la sourdine, en amplitude et en fréquence, écartées par l'apparition d'une résonance supplémentaire, comme nous le verrons dans notre deuxième article. La réponse et la justesse de l'instrument ne sont donc plus les mêmes. Il est parfois indispensable d'expérimenter pour trouver, dans un morceau donné, l'emplacement adéquat. Si celui-ci n'existe pas, il faut alors essayer avec d'autres sourdines ; c'est par exemple le cas dans la descente chromatique extraite du *Concerto de chambre* de Berg (1925) pour le trombone ténor-basse avec sourdine straight :

The image shows a musical score for three instruments: Horn 1 (Hrn1), Horn 2 (Hrn2), and Trombone (Pos.). The score is in 4/4 time and features a chromatic descent. Each instrument part is marked with 'm.Dpf.' (muffled) and 'PPP' (pianissimo). The Horn 1 part has a '3' above the first measure, the Horn 2 part has a '6' above the first measure, and the Trombone part has a '3' above the first measure. The score includes various musical notations such as slurs, accents, and dynamic markings.

Fig. 19 : Berg - *Concerto de chambre*.

L'instrumentiste ne doit pas être gêné pour émettre toutes ces notes et surtout les notes graves avec les « soufflés » (le crescendo et le diminuendo). Parmi les différentes sourdines commercialisées, il n'est pas évident de trouver immédiatement celle adaptée à l'exécution de ce passage.

Temps de préparation (mise en place)

Le temps nécessaire pour mettre en place ou ôter la sourdine dépend du type de sourdine mais aussi de l'instrument : pour la trompette ou le cor, le musicien pouvant libérer facilement une main, ce temps est minimal, à l'exception néanmoins de la fixation de la velvet (avec crochets) au pavillon. Cependant, dans son *Concerto pour orchestre* (1943), Bartók ne laisse pas assez de temps au corniste pour manipuler sa sourdine :

Horns

1,3 in F *f* con sord. senza sord. con sord.

Horns

2,4 in F *f* con sord. senza sord.

senza sord. senza sord. senza sord. *f*

Fig. 20 : Bartók - *Concerto pour orchestre*.

Pour le trombone ce temps est généralement plus long car, à quelques exceptions près (coulisse fermée ou coulisse près du pavillon), les deux mains sont occupées. Cela se complique encore plus avec le tuba pour lequel la taille et le poids des sourdines et le parcours qu'elles doivent effectuer sont bien plus importants. Il est difficile de chiffrer ces temps car trop de facteurs interviennent ; ici aussi l'expérimentation compositeur-instrumentiste est nécessaire et des solutions peuvent toujours être trouvées. Citons comme solution originale la mesure 107 de la troisième pièce de l'*Opus 6* (1913-1914) de Berg ou le second tromboniste doit enlever la sourdine du troisième pendant que ce dernier continue de jouer :

4 Pos.

Dpf. ab!

2. Posanist nimmt dem 3. den Dampfer ab!

ff *ff* (offen, a 2)

Fig. 21 : Berg - *Six Pièces opus 6*.

Une autre illustration est la fin du deuxième mouvement de la partie de trombone dans *Octandre* (1924) de Varèse :

(con sord.)

ff

(otez vivement Sourd.)

sfz mp *p* *fff*

Fig. 22 : Varèse - *Octandre*.

Une solution naturelle sera d'écourter le *mi* pour permettre l'enlèvement de la sourdine. Une autre sera de jouer cette note en première position (coulisse fermée) avec le barillet actionné (il est accordé en *mi*), de cette manière la main droite pourra alors enlever la sourdine pendant le jeu.

Si le musicien doit utiliser à la suite deux sourdines, il faudra prévoir, afin d'éviter des bruits accidentels, un temps plus long que deux fois le temps de mise en place pour lui permettre de poser délicatement la première avant de se saisir de la deuxième.

Dans le cas d'une pièce utilisant plusieurs sourdines, un pied pourra permettre un arrangement particulier et faciliter l'accès.

Limites-incompatibilités

Nous allons revenir ici sur quelques difficultés mentionnées précédemment :

- 1) L'utilisation de la plunger et l'effet wawa avec la harmon immobilisent une main, ce qui rend inutilisables ses fonctions habituelles, comme par exemple actionner la coulisse (ou pompe) d'accord pour la trompette, l'emploi du barillet du trombone ou encore l'introduction de la main dans le pavillon du cor. Cela peut parfois devenir un handicap : en effet la plunger « monte » le son, et le trompettiste, ne pouvant agir avec la coulisse d'accord, est obligé de corriger avec ses lèvres, malgré toutes les limitations que cela comporte. De même, si l'on désire utiliser la plunger pour des sons graves du trombone, il y aura incompatibilité entre actionner le barillet et utiliser la sourdine, ce qui peut conduire à choisir une autre sourdine, la derby par exemple.
- 2) La sourdine harmon peut être jouée pour différentes positions du tube coulissant (stem) ou sans ce tube, ce qui permet d'obtenir des timbres très différents ; le passage d'une position à l'autre n'est pas instantané et si l'on ne peut pas laisser un temps suffisant pour cet ajustement, l'emploi d'une deuxième sourdine harmon sera nécessaire.

2 ETUDE ACOUSTIQUE

Introduction

Dans la première partie, nous nous étions attachés à décrire l'histoire des sourdines ainsi que les différents modèles existants au sein de la famille des cuivres. Les problèmes pratiques rencontrés par les instrumentistes et les compositeurs lors de leur utilisation étaient également présentés. Tout cela était illustré par des exemples musicaux tirés de la littérature.

Cette partie est consacrée à caractériser *objectivement*, c'est-à-dire par la mesure acoustique, les phénomènes engendrés par la présence des sourdines sur le fonctionnement interne et externe des instruments, à proposer des corrections aux modèles existants et éventuellement des transformations ou des créations de modèles. Nous pensons que la plupart des difficultés de fabrication rencontrées par les facteurs de sourdines peuvent se résoudre en utilisant les résultats de cette recherche. De même, les descriptions des effets musicaux des sourdines par les compositeurs peuvent tirer parti de ce travail, en particulier dans la précision du vocabulaire utilisé. Bien entendu, cette étude n'est pas exhaustive, surtout en ce qui concerne la perception. Enfin, nous restons persuadés que les rencontres et les essais entre compositeurs et instrumentistes sont des étapes obligatoires lorsque l'on souhaite utiliser correctement les sourdines et que ces échanges ont tout à gagner en utilisant ce qui suit.

Ce chapitre est divisé en trois parties. La première portera sur les modifications du fonctionnement interne de l'instrument (régime d'oscillation), parfaitement décrit à partir de la mesure de l'amplitude et de la fréquence des résonances (partiels) de l'instrument, et sur le contrôle de ces modifications.

La manière dont la transmission du son à l'extérieur de l'instrument est modifiée par les sourdines, à la fois sur le plan *fréquentiel* et sur le plan *spatial*, constituera la deuxième partie. Les modifications des relations d'amplitude des composantes spectrales du son émis ou « poids » de ces composantes sont sur le plan fréquentiel les principales transformations ; sur le plan spatial, nous observerons les directions privilégiées de rayonnement des composantes spectrales dans l'espace.

Enfin, la dernière partie abordera, à partir d'une nouvelle sourdine wawa de cor, la problématique de la conception de nouvelles sourdines ; le résultat étant bien souvent un compromis entre ce que l'on cherche du point de vue spectral (timbre) et les implications sur le fonctionnement (justesse, réponse, stabilité des notes).

Perturbations du fonctionnement interne, contrôle et correction

La spécification fondamentale à laquelle l'instrument avec sourdine doit répondre pour être utile dans la pratique musicale est de ne pas modifier de façon excessive les sensations ressenties par l'instrumentiste, c'est-à-dire la justesse et la réponse de l'instrument. Ces deux sensations sont fortement corrélées à la valeur de l'impédance d'entrée¹, caractérisation objective, c'est-à-dire ne dépendant pas de l'instrumentiste, et en quelque sorte véritable « signature » acoustique de l'instrument (ref. Benade, Backus).

Le tracé de l'impédance d'entrée d'une trompette en si bémol est représenté sur la figure 23. Les fréquences des pics de cette courbe sont reportées dans le tableau attenant, ainsi que les fréquences des fondamentaux² de la série des notes émises par l'instrument pour ce doigté. On remarquera la parfaite correspondance entre les fréquences des pics et celles des notes émises, à l'exception de quelques pics trop bas en fréquence (comme le premier, défaut bien connu des trompettistes). Le fondamental vrai correspondant à la fréquence de ce premier pic est au-dessous de la « pédale » (fondamental conventionnel) d'un intervalle généralement voisin de la quinte pour la trompette et le trombone.

L'allure générale, ainsi que les détails de cette courbe (par exemple l'enveloppe des pics ou la symétrie plus ou moins parfaite de part et d'autre des pics et des creux), dépend de plusieurs facteurs :

- la répartition tout au long de l'instrument de perces cylindriques, coniques ou hyperboliques, des discontinuités de section (celle située entre la sortie de l'embouchure et l'entrée de l'instrument par exemple) ;
- les pertes liées au rayonnement du pavillon (ce qui heureusement permet à l'instrument d'être entendu à l'extérieur) ;
- les pertes liées aux échanges thermiques et visqueux entre les molécules d'air et les parois.

Notons que ces pertes varient avec la fréquence. Ainsi, pour la trompette, les pertes par rayonnement, très faibles aux basses fréquences (de l'ordre de 1 % à 2 %) deviennent prédominantes vers 1 500 Hz (fréquence pour laquelle la valeur de la longueur d'onde³ du fondamental du son émis est voisine du rayon du pavillon, dimension caractéristique du pavillon). Ceci explique la mauvaise définition des résonances à partir du douzième pic.

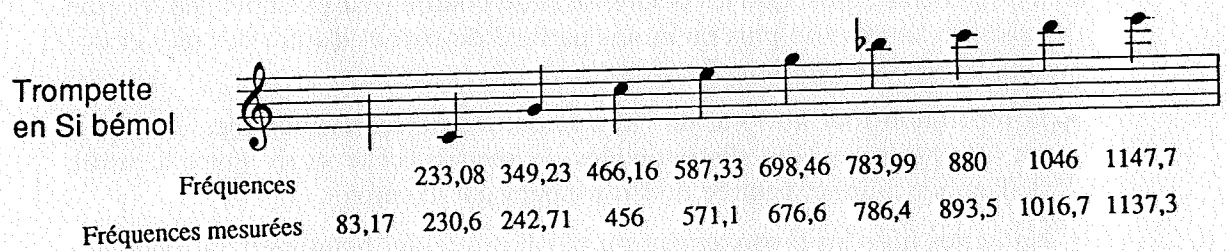
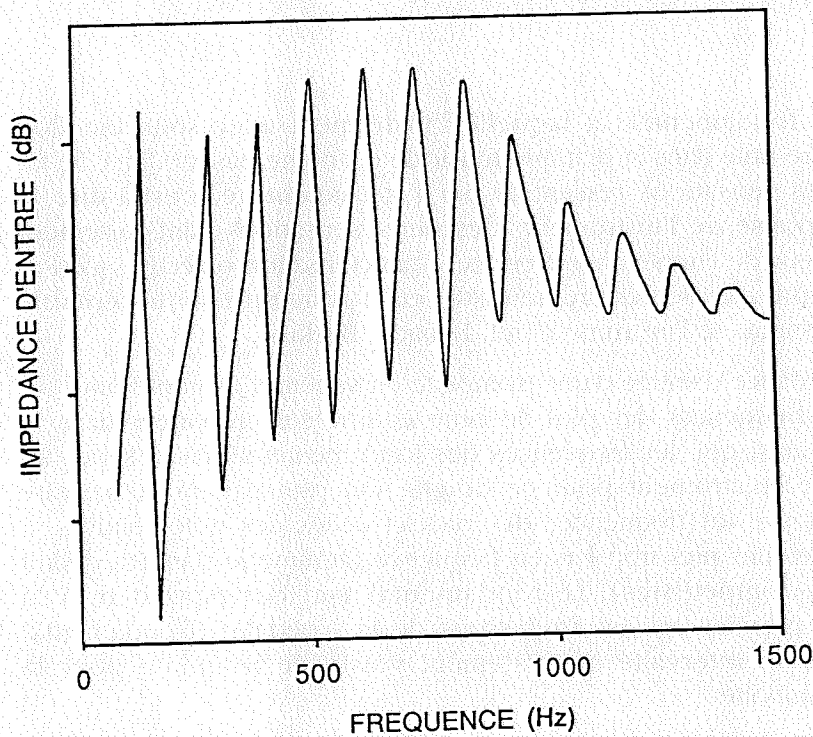


Fig. 23 : impédance d'entrée d'une trompette, les fréquences des pics mesurés et des partiels joués.

Pendant le jeu instrumental, les lèvres du musicien « voient » l'impédance d'entrée précédente. La vibration de ces lèvres, initiée et entretenue par la source d'air continue provenant des poumons, sera fortement guidée par cette impédance. Pour une longueur d'instrument donnée, on ne pourra donc émettre avec facilité que les notes dont la fréquence des fondamentaux coïncide avec celles des résonances de l'instrument. Cette réaction du tuyau dépendra bien entendu de la nuance de jeu. Pour émettre un fa_2 participeront en plus du troisième pic de la courbe précédente les sixième, neuvième, douzième... résonances. Les fréquences de ces résonances correspondent successivement au premier (174 Hz), deuxième, troisième, quatrième...

harmonique de cette note. Cette coopération variable de plusieurs pics dans l'émission d'une note permet d'expliquer pourquoi la sonorité de l'instrument, liée aux composantes du spectre, varie avec la nuance.

Tout ce qui vient d'être énoncé jusqu'ici permet de se rendre compte plus ou moins intuitivement que plus les fréquences des pics se rapprocheront d'une relation harmonique entre elles, plus l'amplitude de ces pics sera élevée et que plus l'enveloppe des pics sera régulière, et ce pour toutes les longueurs d'instruments utilisées, meilleure et plus homogène sera la réponse de l'instrument. C'est à ce niveau qu'il faut chercher une différence de qualité entre deux instruments.

L'harmonicité, la largeur, l'amplitude et l'enveloppe des pics sont altérées par la présence des sourdines. Ces effets, variables selon le modèle de sourdine utilisé, seront présentés par la suite pour différents cuivres.

La classification choisie ici pour les sourdines n'est plus liée au mode de fixation, comme dans la première partie de cette étude, mais au rôle acoustique joué par les sourdines par rapport au pavillon. Pour rappel, la première catégorie correspondait aux sourdines se fixant à l'intérieur du pavillon (sèche, wawa, etc.), la deuxième, celles qui se tiennent contre le pavillon (plunger, bucket) et la troisième, celles qui sont les combinaisons des deux catégories précédentes (bol).

Sourdines en parallèle

Ces sourdines ont un effet acoustique « parallèle », dans l'acception des électriciens, à celui du pavillon. Il est nécessaire de distinguer entre les sourdines internes au pavillon (sèche, bol) et celles externes (plunger, velvet, hat).

Le tracé de l'impédance et les valeurs des fréquences de résonance de la même trompette, munie d'une sourdine sèche, sont reportés sur la figure 24. Deux modifications évidentes émergent de la comparaison avec la figure 23 : l'apparition d'un pic supplémentaire entre les deux premiers pics et la meilleure définition des résonances à partir du douzième pic. Nous qualifierons ce pic supplémentaire de « parasite », dans le sens où il se greffe sur les résonances et perturbe le fonctionnement de l'instrument.

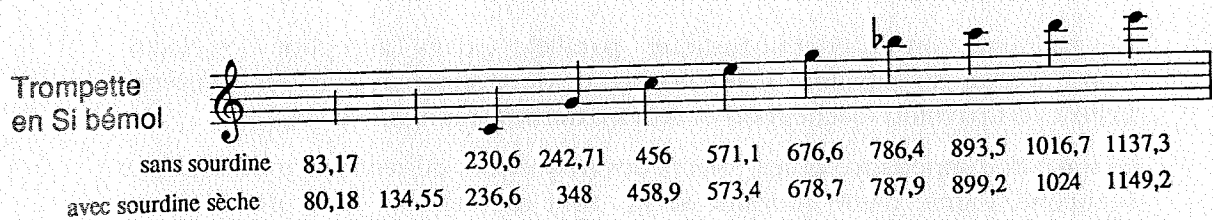
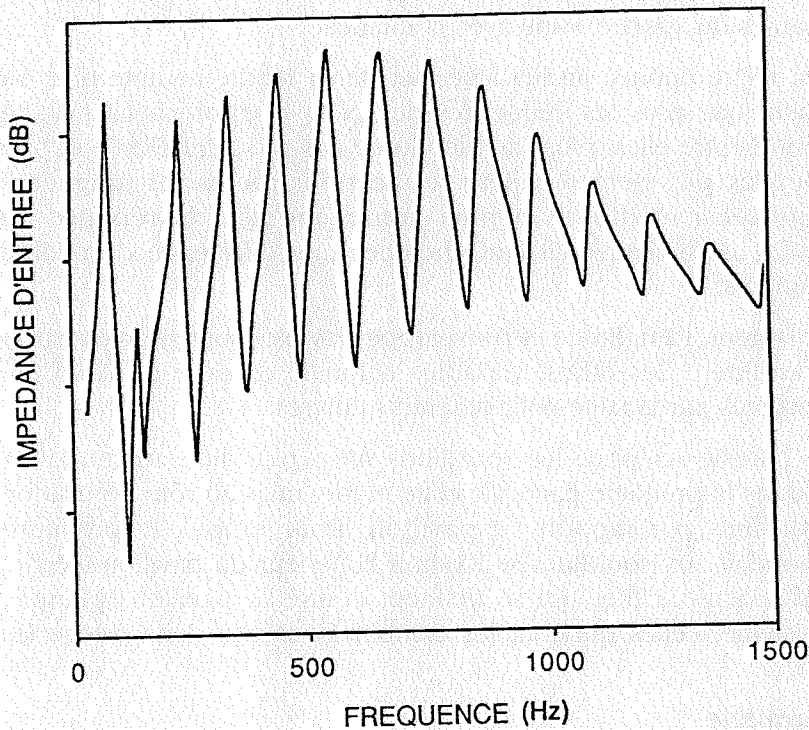


Fig. 24 : impédance d'entrée d'une trompette avec sourdine sèche, les fréquences des pics mesurés et des partiels joués.

Résultat du couplage entre ce dernier et la sourdine, ce pic est plus précisément rattaché à la résonance de Helmholtz⁴ de la cavité de la sourdine qui réfléchit vers l'embouchure une grande partie de l'énergie transmise lorsqu'elle est excitée à sa fréquence de résonance. La conséquence directe de ce « shunt » acoustique est l'absence de cette composante dans le spectre externe, comme nous le verrons au troisième chapitre.

La fréquence de ce pic parasite ne varie pas avec la longueur de l'instrument, c'est-à-dire avec le doigté. On montre facilement que son effet est d'écarter les pics entre lesquels il se place et donc de perturber le processus d'émission pour les notes qui font participer ces pics. Ainsi, la sèche introduit dans le

registre de l'instrument une zone dans laquelle l'émission est difficile. La meilleure définition des résonances à partir du douzième pic est liée à la diminution des pertes par rayonnement, provoquée par la réduction de la surface d'émission du pavillon. Comme conséquence directe, la réaction du tuyau sur les lèvres est plus forte que dans le cas de l'instrument seul, et donc entraîne une plus grande facilité d'émission, en particulier lors des transitoires d'attaque.

Pour la sourdine bol, le degré de fermeture du pavillon par le bol conditionne l'apparition et l'importance d'un deuxième pic perturbateur rattaché à cette nouvelle cavité, situé plus haut en fréquence, généralement autour du sixième pic.

Les sourdines externes doivent être considérées plus comme un obstacle à la propagation qu'une cavité résonante. Leur influence dépend fortement du type de perce de l'instrument. Ainsi le tuba, dont la perce est à dominante conique (le rapport entre les longueurs des parties coniques et celles des parties cylindriques est de l'ordre de 10), a son fonctionnement perturbé plus tôt en fréquence que le trombone, qui est, lui, à dominante cylindro-hyperbolique.

Afin de comparer ces deux cas, l'influence de l'obstruction de la surface de sortie du pavillon par un disque troué en son centre a été observée sur la courbe d'impédance. La proportion entre la surface fermée et la surface ouverte de ce disque étant conservée identique pour les deux instruments. Les figures 25 et 26 représentent ces résultats pour les instruments avec et sans disque. L'échelle utilisée ici est linéaire ; à la différence de l'échelle logarithmique utilisée précédemment pour la trompette, elle ne permet pas de voir avec précision les minima de la courbe.

remplace, ce qui n'est pas sans poser quelques problèmes lors de la réalisation, comme nous le verrons plus loin dans le cas de la nouvelle sourdine wawa pour le cor.

Effets des matériaux et de la vibration des parois sur le fonctionnement

La vibration des parois de la sourdine, plus ou moins facilitée par les matériaux, leur épaisseur ou le type de montage utilisé lors de la fabrication, peut être la source de difficultés d'émission (notes qui « roulent ») dépendant de la nuance de jeu. Dans le cas de la sèche, c'est en général le fond de la sourdine qui vibre le plus et qui est responsable de l'apparition d'un pic parasite supplémentaire sur la courbe d'impédance (figure 28).

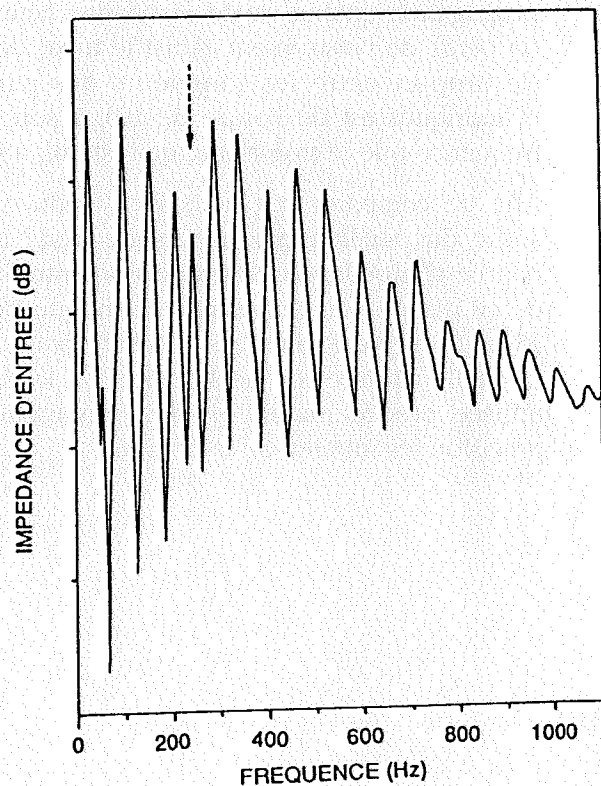


Fig. 28 : impédance d'entrée d'un trombone avec une sourdine sèche dont le fond vibre anormalement.

Dans ce cas, pour une longueur déterminée du trombone, le pic apparaît entre les quatrième et cinquième résonances. Ce type de perturbation peut être facilement corrigé ; il n'en est pas de même pour celui engendré par les vibrations liées au mode de fabrication car bien souvent on est obligé de toucher à la spécificité du modèle.

Contrôle et correction des effets

Certaines perturbations de fonctionnement, comme celles liées à la vibration des parois de la sourdine, sont extrinsèques au modèle et peuvent être facilement contrôlées ou corrigées ; d'autres sont intrinsèques au modèle et les supprimer reviendrait à repenser complètement la forme du modèle et donc à changer sa spécificité sonore. Dans ce cas, essayer de maîtriser le sens de variation de ces effets en fonction des différents paramètres de la sourdine est la seule possibilité qu'il nous reste. Ces paramètres sont principalement :

- la position de la sourdine par rapport au pavillon : soit le degré d'enfoncement de la sourdine dans le pavillon, lié à l'épaisseur du liège (lames ou ruban), soit le degré de fermeture du pavillon pour le modèle parallèle-externe ;
- la forme et le volume de la sourdine ;
- le diamètre et la longueur du col de la sourdine ;
- le diamètre et la longueur du tube interne coulissant.

Pour illustrer cette variation, l'enfoncement d'une sourdine sèche a été modifié en agissant sur l'épaisseur des lames de liège. Les conséquences à la fois sur l'amplitude et la fréquence du pic parasite et des pics adjacents (généralement les seuls à être affectés) ont été mesurées. La figure 29 représente le tracé des deux premières résonances du trombone ainsi que l'évolution de la position du pic parasite lorsque l'enfoncement E (distance entre le fond de la sourdine et la sortie du pavillon) varie. Les fréquences des pics sont également reportées sur cette figure.

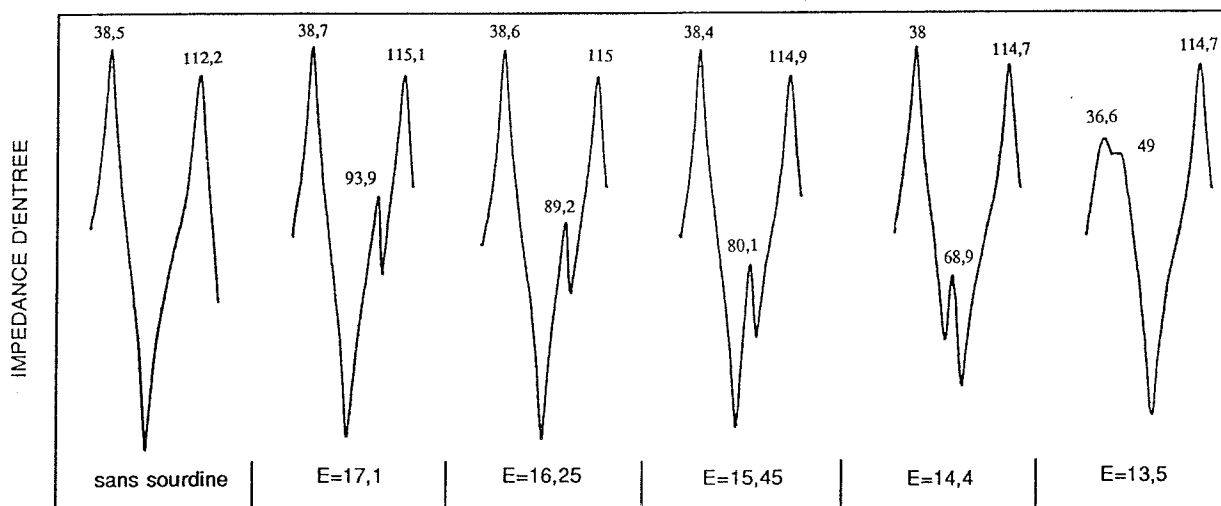


Fig. 29 : variation des deux premières résonances du trombone en fonction de l'enfoncement (E en cm) de la sourdine dans le pavillon.

Si l'élimination totale du pic, et donc de la perturbation, est irréalisable, il est cependant possible de le déplacer sensiblement (variation de la fréquence jusqu'à 50 %) et ainsi de trouver pour chaque circonstance musicale de jeu une position convenable. A l'inverse de ce pic, la variation de fréquence des pics adjacents est heureusement très faible. Notons de plus que la fréquence de ce pic parasite ne varie pas avec le doigté, c'est-à-dire en fonction de la longueur de l'instrument ; cette fréquence ne varie que de 2,7 % lorsque la longueur de l'instrument varie de 37 %, ce qui correspond pour le trombone au passage de la première à la sixième position, alors que la fréquence des autres pics varie de 25 % (une quarte). Il suffit donc de régler la position du pic pour une seule longueur de l'instrument.

Sur le plan pratique, c'est en général l'épaisseur des lames de fixation qui permet d'ajuster la fréquence du pic, ce qui n'est habituellement pas facile. Notons qu'il existe pour le cor une marque de sourdine sèche qui possède un modèle permettant de régler facilement la position des lames de liège, et donc l'enfoncement. Cependant, ceci se fait au détriment de l'étanchéité de la sourdine, provoquant une altération du spectre externe et de la sonorité. Signalons également que pour le cor, la main droite, libérée par la sourdine de sa fonction habituelle d'ajustement des résonances, peut servir à régler l'enfoncement de manière interactive.

Un accroissement de volume abaisse la fréquence de Helmholtz (f_H) de la sourdine et en conséquence celle du pic parasite. En effet, le volume (V) intervient dans l'expression de la fréquence du résonateur comme l'inverse de sa racine carrée ; donc si l'on trace la fréquence du résonateur en fonction de $1/\sqrt{V}$, on doit trouver une droite. C'est ce que l'on observe sur la figure 30 pour une sèche expérimentale à volume variable de trombone. L'évolution de la fréquence du pic parasite pour deux positions extrêmes de la coulisse ($F1$ et $F6$) est également représentée.

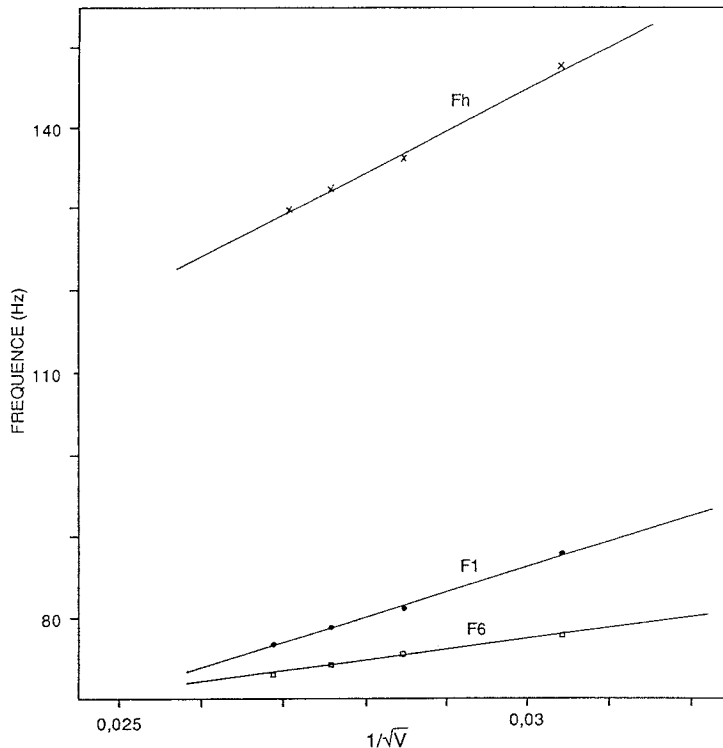


Fig. 30 : fréquence de Helmholtz (fH) d'une sourdine sèche du trombone et fréquence du pic parasite pour deux longueurs extrêmes de l'instrument (F1 et F6) en fonction du volume (V) de la sourdine.

S'il n'existe pas dans le commerce de sourdines sèches à volume ajustable, bien qu'un tel type de sourdine ne nous semble pas difficile à concevoir, il est possible de trouver, toujours pour le cor, des sourdines dont le col est prolongé par un tube télescopique et dont l'effet, lorsque l'on fait varier sa longueur, peut être assimilé à un accroissement de volume. Cependant, l'inconvénient majeur de ce type de correction est d'agir non plus seulement sur les deux ou trois premiers pics mais, dans le cas de longueurs de tube importantes, sur l'ensemble des pics. En mesurant l'évolution de la résonance de Helmholtz ou du pic parasite pour différentes longueurs du tube interne, on met en évidence une loi de variation non plus en $1/\sqrt{L}$ mais en $1/L$ (voir la figure 31, où nous avons également représenté la variation de la fréquence F1 du pic parasite).

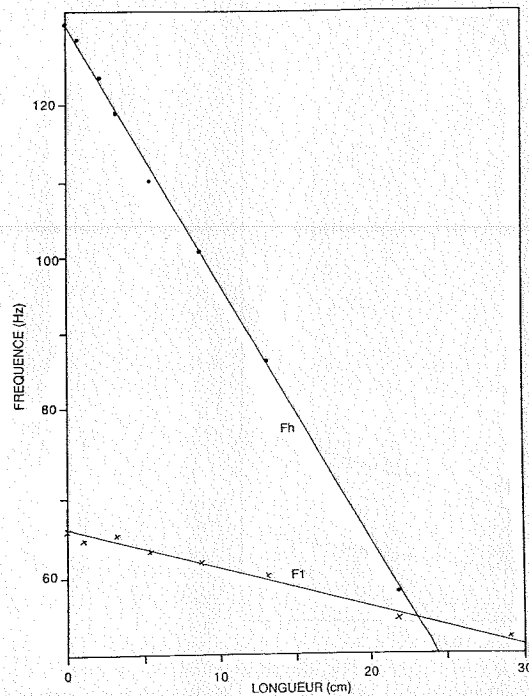


Fig. 31 : fréquence de Helmholtz (f_H) d'une sourdine sèche du trombone et fréquence du pic parasite (F_1) en fonction de la longueur du tube à l'entrée de la sourdine.

Pour la wawa et les sourdines en série, l'effet du volume ou de la longueur du tube interne n'est pas le même, car cette sourdine doit imiter l'impédance de la partie aval du pavillon. Les lois de variation sont moins évidentes à faire ressortir.

Transformations à l'extérieur de l'instrument (filtrage fréquentiel et spatial)

Les sourdines, agissant au niveau du pavillon, modifient les conditions de réflexion et de transmission des ondes acoustiques. Cela se traduit par une modification de l'amplitude et de la fréquence des extrema de la courbe d'impédance à l'entrée de l'instrument et en sortie par un filtrage fréquentiel différent (certaines composantes seront affaiblies, d'autres renforcées dans le spectre). La distribution temporelle des composantes diffère également lors des attaques des notes (transitoires) et une modification (filtrage spatial) du rayonnement dans l'espace (les composantes n'ayant pas le même « poids » dans toutes les directions de l'espace).

Nous nous intéresserons surtout aux deux transformations de filtrage fréquentiel et spatial, qui, avec la transformation temporelle, sont des paramètres perceptifs pertinents pour l'audition et qui contribuent fortement à l'impression de *timbre* (ref. Caussé). La description au moyen d'attributs verbaux des différentes transformations (comme cela peut se rencontrer dans certains traités d'orchestration) ne sera pas abordée ici car très vite on se heurte à « l'impuissance » des mots. En effet, ce type de description est soumis aux différences d'appréciations sémantiques ; comment se représenter pour les sourdines un son « rauque et sourd » (ref. Berlioz) ou « doux et moelleux » (ref. Koechlin).

Modification des transitoires

Pour décrire les transformations introduites par les sourdines, nous avons retenu ces trois paramètres qui agissent bien souvent séquentiellement au cours de l'émission des sons ; ainsi par exemple lors du transitoire d'attaque, notre perception se focalise plus ou moins à notre insu sur l'ordre et la durée d'apparition des composantes spectrales du son, harmoniques ou bruit. Les exemples bien connus de suppression ou de substitution du transitoire d'attaque ont également montré l'importance de ce facteur sur le plan perceptif.

La durée de ce transitoire est déterminée par les échanges énergétiques à l'intérieur de l'instrument mais aussi avec l'extérieur (rayonnement). Si la surface d'émission du pavillon est réduite par l'insertion d'une sourdine sèche par exemple, il en sera de même pour l'énergie rayonnée avec, comme conséquence directe, une réaction plus forte sur les lèvres de l'instrumentiste et une attaque plus rapide. Cet effet est visualisé sur la courbe suivante (figure 32) où sont comparées les durées des transitoires en fonction du rang de l'harmonique pour la note si bémol₂ du trombone ténor avec (trait plein) et sans (tirets) sourdine sèche. La réduction du temps d'attaque, inégale sur tout le spectre (10 millisecondes pour le deuxième harmonique, trois fois plus pour le dixième) est liée à la répartition des ondes stationnaires qui varie avec la fréquence comme nous l'avons vu précédemment.

Si dans le cas de la sourdine sèche l'allure de la modification est continue, pour certaines sourdines, au contraire, les courbes d'attaque sont très irrégulières. C'est le cas par exemple de la whisper (figure 33), pour laquelle un tube interne à la sourdine et les vibrations de ses parois favorisent pour quelques notes l'apparition de certains harmoniques au détriment des autres et peuvent ainsi perturber le processus d'identification de l'instrument.

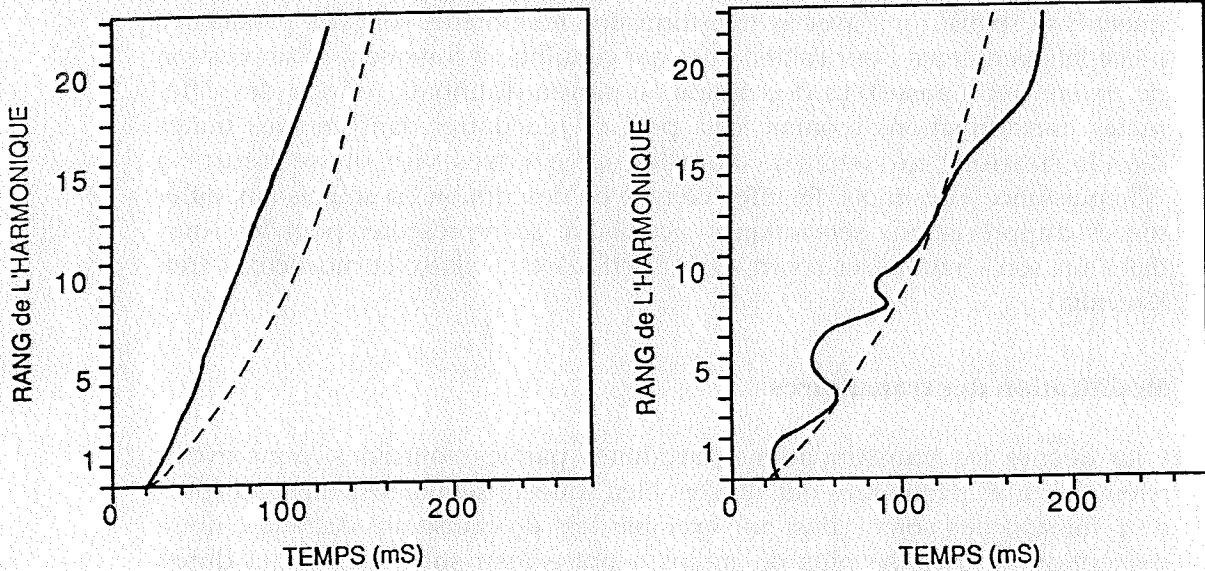
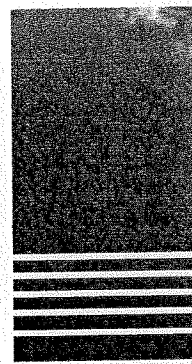


Fig. 32, 33 : transitoires en fonction du rang de l'harmonique pour la note si bémol₂ du trombone avec (—) et sans (- - -) sourdine dans le cas de la sèche (32) et de la whisper (33).

Filtrage spatial

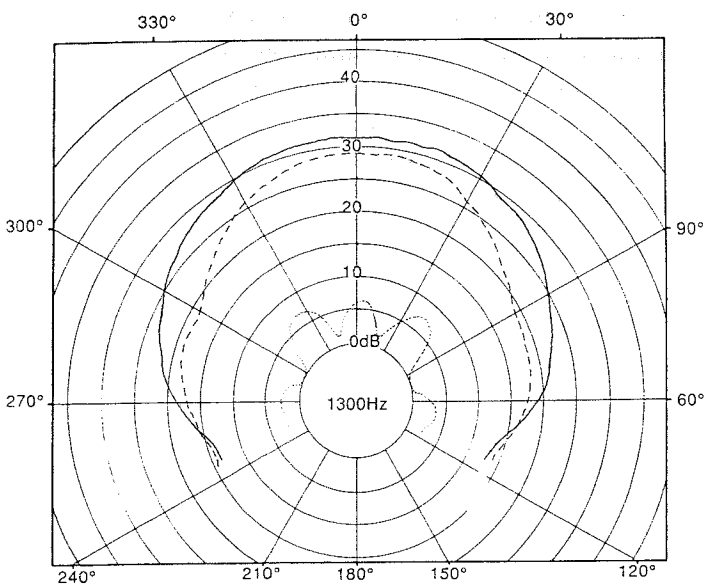
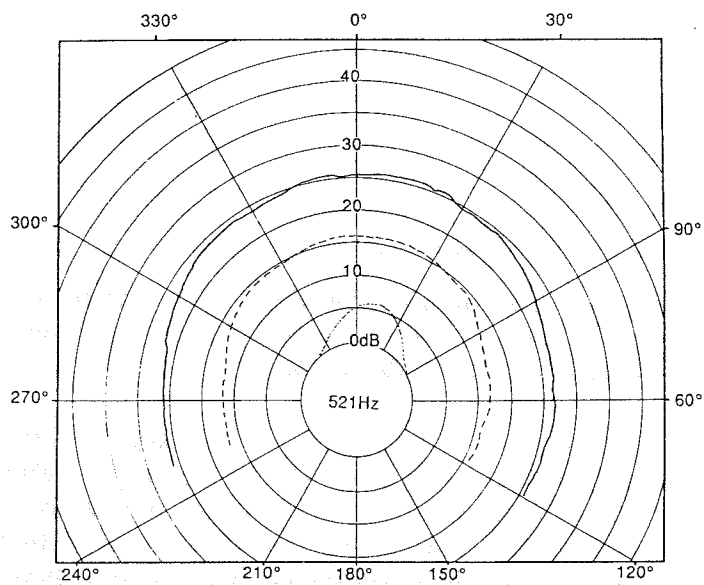
L'auditeur est sensible, plus ou moins inconsciemment, à la manière dont le son est distribué dans toutes les directions de l'espace, à la fois à travers la résolution temporelle des réflexions de la salle et à travers l'exploration des caractéristiques du champ acoustique local par des mouvements de la tête.

Lorsque les sourdines réduisent la surface d'émission ou la remplacent par une surface aux propriétés acoustiques très différentes, lorsqu'elles constituent un simple obstacle au rayonnement ou bien lorsque l'importance de l'émission liée aux vibrations des parois est du même ordre que celle du tuyau (donnant lieu à de curieux phénomènes d'interférence), elles agissent alors sur les caractéristiques directionnelles de l'instrument. La portée de cette transformation dépend de l'ordre de grandeur du rapport entre la dimension caractéristique de la surface émettrice (rayon du pavillon par exemple) et celle de la composante fondamentale du spectre du son émis (longueur d'onde qui est égale au rapport entre la célérité et la fréquence).

Les différentes composantes harmoniques d'une note donnée auront donc des caractéristiques directionnelles qui varieront avec le rang, et étant donné la forme de certaines sourdines, très éloignée de celle d'un pavillon, il faut s'attendre à des transformations importantes des caractéristiques de directivité.

Sur le plan de la perception, ces transformations peuvent aller jusqu'à troubler notre reconnaissance de l'instrument, un trombone avec une sourdine velvet pouvant sonner pour quelques notes comme un cor par exemple.

Voici reportées sur la figure 34 trois comparaisons de diagrammes de directivité mesurés pour trois fréquences dans le plan longitudinal défini par l'axe du trombone (ici orienté 180-0 degrés). Pour des raisons liées au dispositif expérimental, il n'a pas été possible d'explorer les 360 degrés.



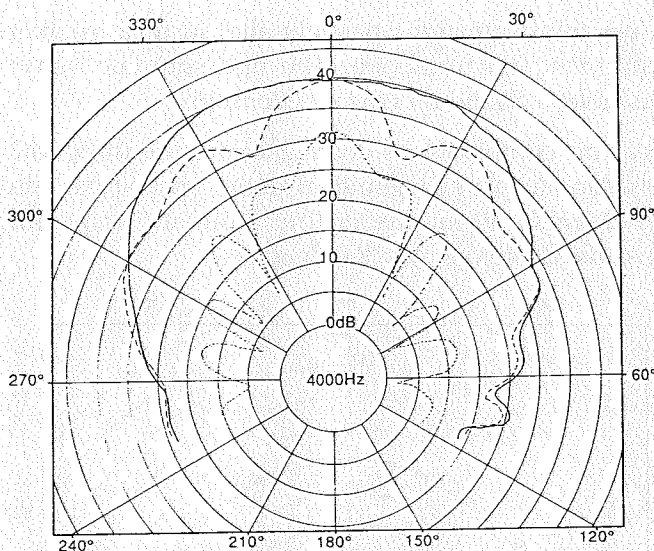


Fig. 34 : diagrammes de directivité du trombone (—) avec sourdine sèche (---) et avec sourdine wawa, stem tiré au maximum (.....), mesurés pour trois fréquences à 30 cm du pavillon.

On notera, en plus de la variation angulaire du niveau sonore exprimé en décibels (dB), que la directivité de la sourdine wawa pour la fréquence 521 Hz est déjà très marquée en comparaison de celle de l'instrument seul. La variation régulière de la directivité en fonction de la fréquence, caractéristique des cuivres, n'est plus respectée dans ce cas. Pour certaines sourdines cette variation est aussi hétéroclite que celle du violon par exemple. La symétrie du rayonnement par rapport à l'axe longitudinal de l'instrument, autre caractéristique des cuivres, est fortement perturbée pour des sourdines comme la plunger, la bol ou la velvet, pour lesquelles la fermeture du pavillon ou la fixation de la sourdine ne se font pas de manière uniforme. Ceci est illustré sur la figure 35 pour la velvet et la bol à la fréquence 4 000 Hz. Bien entendu, cette dissymétrie est déjà présente pour le cor de part la tenue de l'instrument : main droite enfoncée dans le pavillon, ce dernier étant incliné et tenu à proximité du corps de l'instrumentiste.

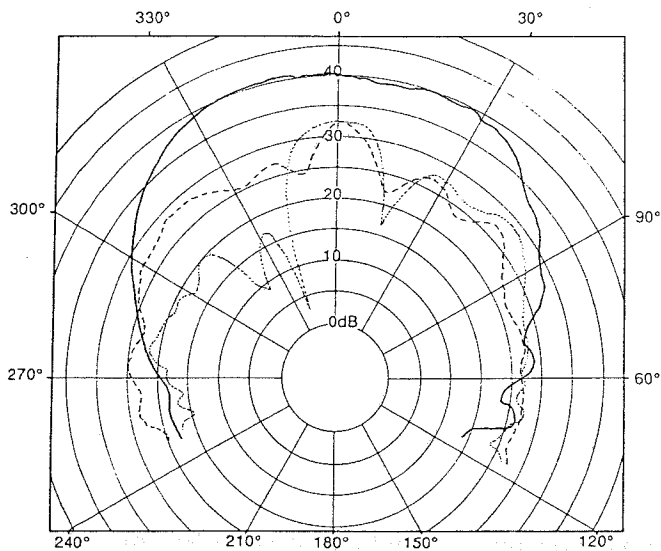
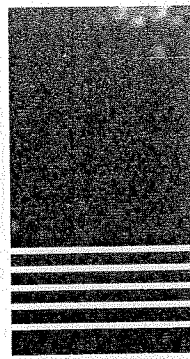


Fig. 35 : diagrammes de directivité du trombone (—) avec sourdine velvet (- - -) et avec sourdine bol (·····), mesurés pour la fréquence 4 000 Hz à 30 cm du pavillon.

Définir une fonction de transfert unique, qui convertirait le spectre interne observé à sa naissance, c'est-à-dire dans l'embouchure, en spectre externe mesuré en sortie du pavillon est, au vu de ce qui précède, quasi impossible. En effet, autant la mesure du spectre interne est facile et reproductible, autant celle du spectre externe est fortement dépendante de la position du microphone de mesure par rapport à l'axe longitudinal du pavillon. Signalons également que plus on s'éloigne du pavillon (distance très grande par rapport au rayon du pavillon), plus la salle perturbe cette fonction de transfert. Toutes ces difficultés nous ont donc conduits à mettre au point une méthode de mesure appropriée pour la mesure et la représentation des transformations fréquentielles (ref. Caussé).

Filtrage fréquentiel

Pour se prévenir des fluctuations du spectre dues à l'irrégularité du rayonnement, nous avons procédé à des moyennes spatiales en utilisant, non pas la composante directe du son (celle qui arrive au microphone de mesure sans aucune action de la salle), mais sa composante réverbérée, enregistrée dans l'Espace de projection, salle à acoustique variable, bien adapté pour cela. Afin de visualiser le filtrage sur tout le registre de l'instrument nous effectuons des moyennes des analyses de plusieurs gammes chromatiques successives en utilisant un analyseur de spectre temps réel.



Ce type d'analyse ne peut s'appliquer que sur la partie stable du son et non sur l'attaque de la note ; cependant il est possible d'associer aux transformations résultantes une qualité « timbrale ». Cette méthode assure aux analyses une bonne reproduction et une discrimination suffisante pour séparer les nuances de jeu (*piano*, *mezzoforte*) ou l'articulation utilisée (*legato*, *staccato*).

Comme nous l'avons déjà mentionné, à la différence des instruments à cordes, la distribution spectrale des cuivres est généralement assez régulière sur tout le registre ; cependant, avec sourdines, cette uniformité est rompue et ce de façon aussi variée qu'il y a de modèles. Nous examinerons successivement les transformations pour tous les modèles de sourdines en reprenant la classification liée au mode de fixation sur le pavillon utilisée dans le premier article et en essayant d'établir, lorsque cela sera possible, le lien entre l'allure de la transformation et le rôle des différents éléments qui composent la sourdine.

Première catégorie

La sourdine sèche agit comme un filtre passe-haut, c'est-à-dire qu'elle atténue les fréquences graves par rapport à l'instrument seul. Cette atténuation est provoquée par la réduction de l'orifice de sortie. C'est le volume délimité entre la surface intérieure du pavillon et la surface extérieure de la sourdine qui détermine la fréquence à partir de laquelle la sourdine n'a plus d'effet et que l'on appelle habituellement fréquence de coupure.

Sur la figure 36 sont superposés les spectres moyennés du trombone seul (trait en pointillés) et avec sèche (trait plein). La zone fréquentielle couverte par les fondamentaux des partiels de l'instrument se limite à la fréquence 500 Hz dans le cas du trombone. Les creux dans le spectre situés à 140 Hz, 815 Hz, 1 380 Hz, 2 200 Hz, etc., correspondent successivement à la fréquence de Helmholtz et aux autres résonances de la sourdine pour lesquelles cette dernière agit comme un véritable « shunt » acoustique, réfléchissant toute l'énergie vers l'embouchure. Sur le plan perceptif, c'est l'effet passe-haut qui l'emporte, masquant l'effet des creux, généralement trop étroits en largeur, à l'exception du creux lié à la résonance de Helmholtz.

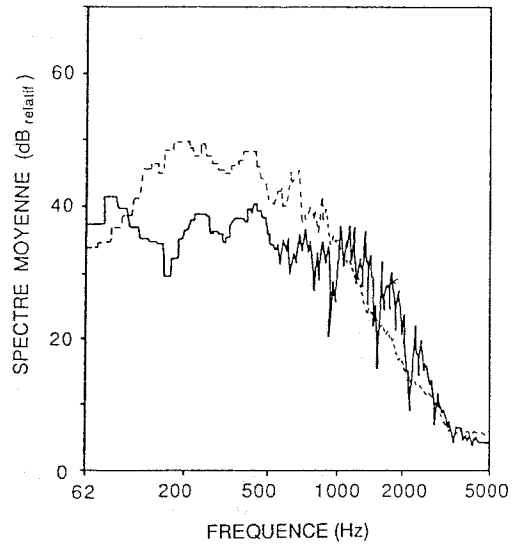


Fig. 36 : spectres moyennés du trombone sans (- - -) et avec sourdine sèche (—).

L'onomatopée **ou-a** (en phonétique **u-a**) décrit bien le résultat sonore obtenu lorsque l'on passe graduellement de la fermeture à l'ouverture par la main de la sortie du petit tube (stem) de la sourdine wawa. Cet effet, que l'on peut émettre d'ailleurs avec plusieurs sourdines, est visualisé sur le sonagramme⁷ suivant (figure 37).

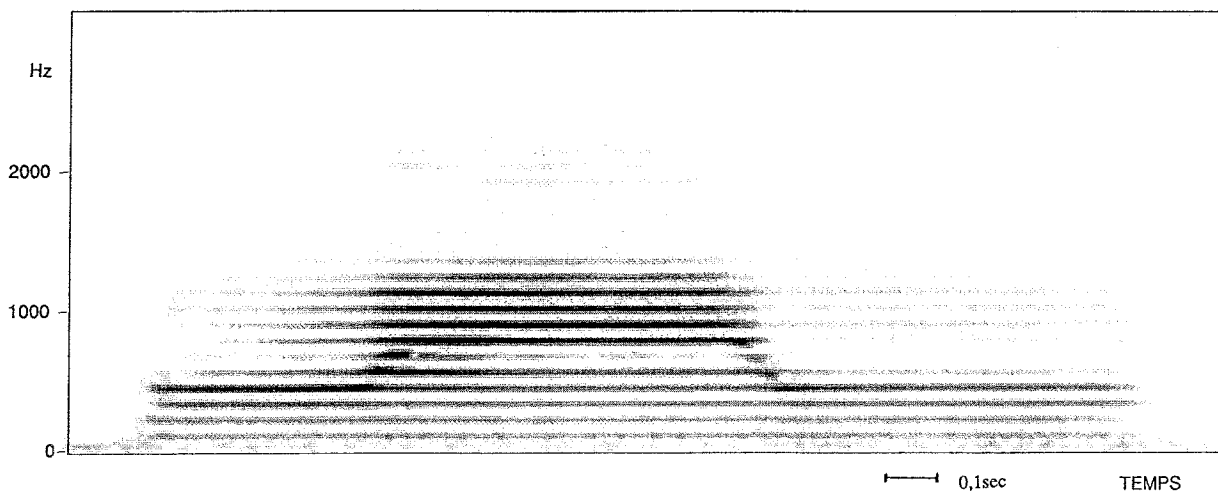
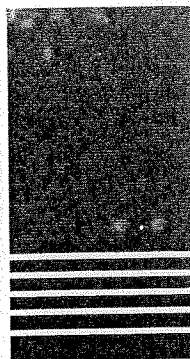


Fig. 37 : sonagramme d'un si bémol₂ au trombone avec sourdine wawa en changeant l'ouverture de la sourdine à la main.



Il est possible ici de suivre l'évolution du spectre lors des transitions et de remarquer que chaque harmonique a un poids différent selon que l'on se trouve sur le **a** ou sur le **ou**. La sourdine permet également d'obtenir d'autres transformations spectrales autres que cet effet, simplement en faisant varier la position du tube interne par rapport au corps principal de la sourdine. Ainsi, lorsque ce petit tube est en position normale (« rentrée »), nous observons (figure 38 a) une forte atténuation (de l'ordre de 20 dB) des fondamentaux des partiels de l'instrument, suivie par une zone formantique bien marquée correspondant à la première résonance du tube. Tiré au maximum du corps principal, le tube a un effet moindre ; ôté, l'adaptation entre le champ interne et le champ externe est encore plus faible que dans les cas précédents, la conséquence directe est de rehausser l'amplitude des très basses fréquences (figures 38 b et 38 c) par rapport à l'instrument sans la sourdine.

Les sourdines whisper et de type mega ont la même action sur le spectre que la wawa avec tube en position rentrée ; cependant, pour la whisper, l'atténuation globale est plus importante, ce qui justifie son nom (silencieuse).

Deuxième catégorie

De par le mode de fixation sur le pavillon et la forme, la deuxième catégorie de sourdine n'a que peu d'influence sur le registre grave. Par contre, lorsque des matériaux absorbants sont fixés sur la paroi interne, comme pour la velvet, le spectre mesuré sera appauvri de ces fréquences. L'effet est habituellement celui d'un filtre passe-bas car les matériaux ne peuvent absorber que les hautes fréquences.

Troisième catégorie

Pour la bol, croisement de la sèche et de la plunger, on retrouvera, pour une fermeture lâche du bol, la transformation de la sèche (figure 39 a), caractérisée par l'atténuation des basses fréquences et les trous dans le spectre liés aux résonances de la cavité de la sourdine, mais avec en plus un trou autour de 1 000 Hz pour le trombone, lié à la nouvelle cavité, délimitée par le bol et le pavillon. Si la fermeture du pavillon par le bol est très serrée, la résonance de cette nouvelle cavité sera située plus bas en fréquence et viendra alors se combiner à celle de la partie sèche de la sourdine. L'ensemble du spectre est alors plus atténué, à l'exception d'une bosse importante vers 421 Hz provenant dans ce cas d'une deuxième source sonore engendrée par la vibration mécanique des parois du bol (figure 39 b).

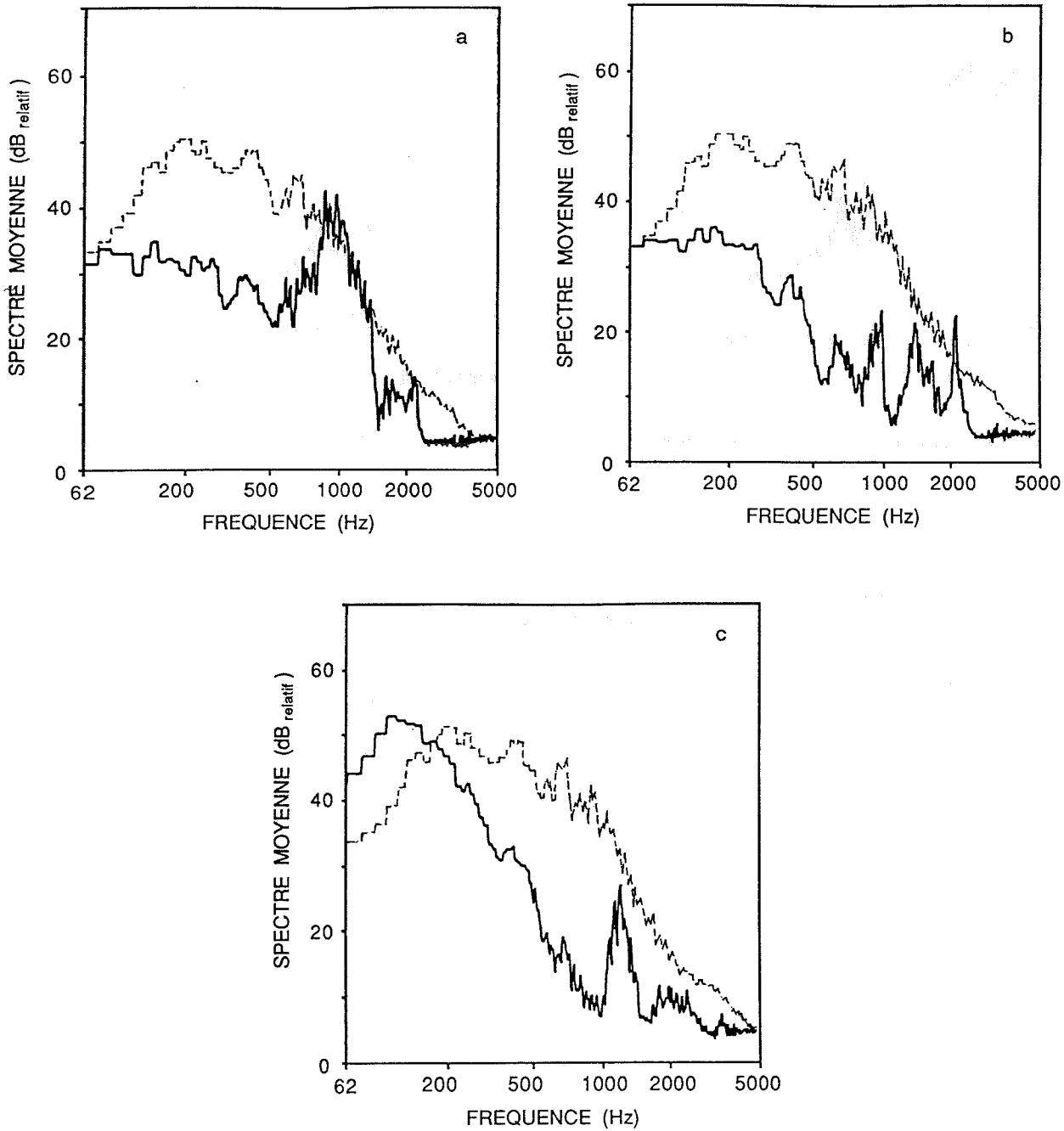


Fig. 38 : spectres moyennés du trombone sans (---) et avec wawa (—) stem rentré (a), stem sorti (b) et sans stem (c).

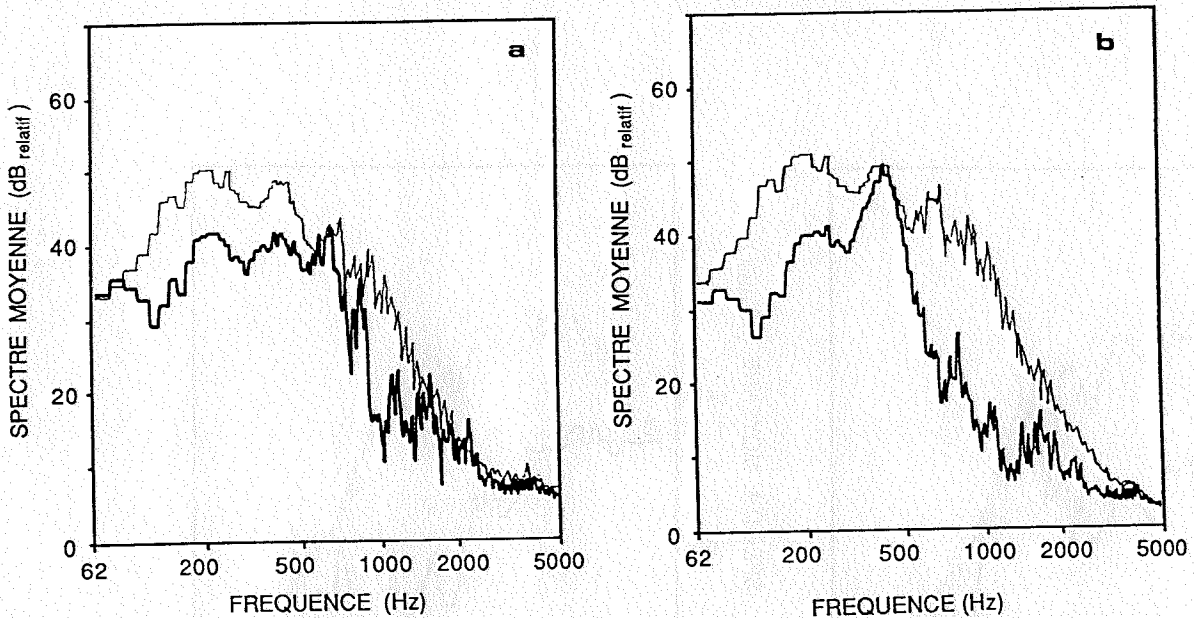


Fig. 39 : spectres moyennés du trombone sans (---) et avec sourdine bol (—) fermeture normale (a), fermeture serrée (b).

En général, l'influence des vibrations des parois de la sourdine sur le spectre est moins marquée que dans l'exemple précédent. De plus, ce sont bien souvent des parties localisées de la sourdine qui vibrent, soit parce qu'elles sont soumises à des contraintes sonores plus importantes, soit parce que leur épaisseur est moindre, c'est le cas pour le fond de la sèche. Pour étudier plus en détail l'influence des matériaux, nous avons construit des sourdines en matériaux différents (bois, matière plastique, carton goudronné et aluminium), tout en conservant la forme et l'épaisseur des parois parfaitement constantes. La comparaison pour les spectres obtenus est reportée sur la figure 40. Le spectre moyenné de la sourdine en carton (trait en pointillés) ne présente pas de creux lié à la résonance de Helmholtz, comme cela existe pour la sourdine en bois (trait plein) vers 140 Hz. En effet, cette résonance ne peut s'établir car la vibration des parois, surtout du fond, est trop importante et cela se traduit sur le spectre moyenné par une « bosse » importante autour de 250 Hz.

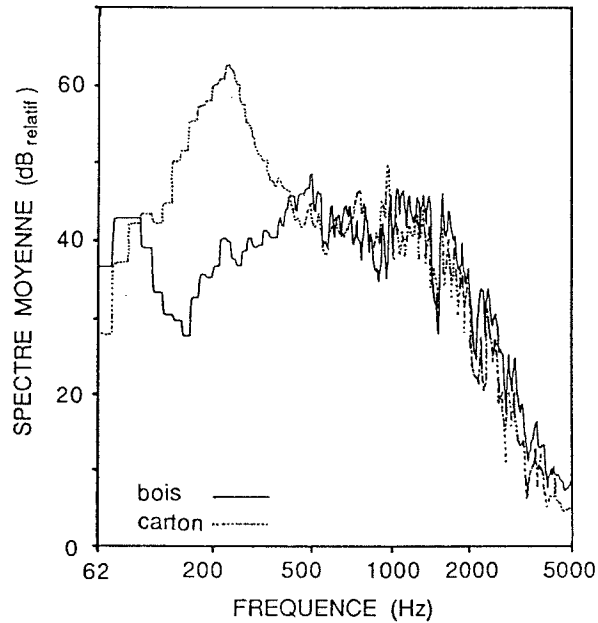


Fig. 40 : spectres moyennés du trombone avec sourdines sèche en bois (—) et en carton (---).

Sur le plan perceptif, l'influence des matériaux a plus d'influence pour les sourdines que pour les instruments seuls, pouvant aller jusqu'à dicter le choix de la sourdine selon l'effet recherché. Il peut arriver que certaines techniques d'assemblage des différentes parties de la sourdine favorisent en vieillissant la vibration d'une de ces parties et que cette vibration soit utilisée comme un effet musical supplémentaire, notamment dans le jazz. Sur la figure 41, l'assemblage défectueux d'une sourdine pour laquelle nous avons volontairement exagéré ce défaut, se traduit sur le spectre moyenné par un pic autour de 3 600 Hz alors que la vibration du fond se situe vers 350 Hz.

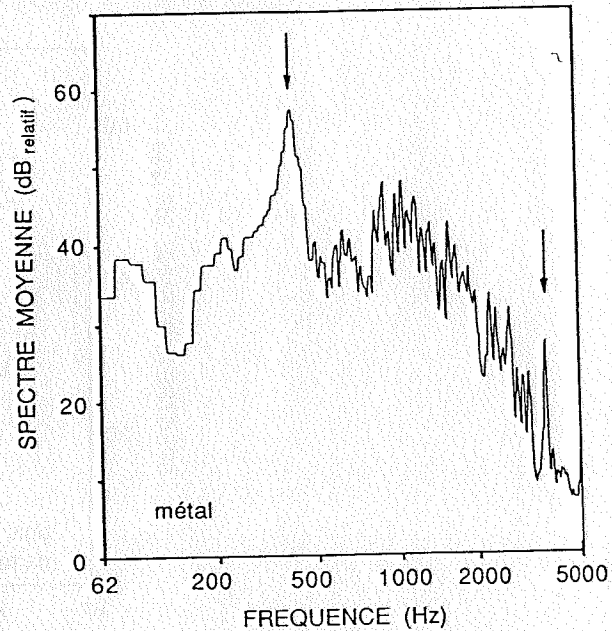


Fig. 41 : spectre moyenné du trombone avec sourdine sèche métallique dont l'assemblage est défectueux et les parois vibrent exagérément.

Variation de ces transformations selon la famille d'instrument

Jusqu'ici, les exemples illustrant les transformations induites par les sourdines provenaient du trombone. Les spécificités de chaque famille seront mentionnées brièvement dans ce qui suit.

La **trompette** présente de grandes similitudes de perce, donc acoustiques, avec le trombone ; de plus elle est munie à peu près des mêmes sourdines que ce dernier. Il n'est donc pas surprenant de retrouver les mêmes transformations transposées à l'échelle de la trompette, c'est-à-dire que les fréquences ou les plages de fréquences sont approximativement multipliées par 1,8 (140 Hz pour le pic parasite du trombone et 250 Hz pour la trompette en si bémol).

Pour le **cor**, la comparaison avec le trombone est très limitée car il n'existe aujourd'hui que deux sortes de sourdines, la sèche et la sourdine son-bouché, et que seule la première est commune aux deux instruments. De plus, la sèche du cor présente généralement un tube interne dans le prolongement du col, à longueur variable. Allonger ce tube revient à abaisser les fréquences de résonance de la sourdine, ce qui se retrouve au niveau du spectre externe ; le creux de Helmholtz et les autres trous se déplacent vers des fréquences plus basses, comme cela est visible sur la figure 42. Celle de Helmholtz passe de 120 à 100 Hz alors que la suivante passe de 1 275 à 800 Hz. Cependant, si cette modification peut être perçue auditivement, elle n'est que du deuxième ordre.

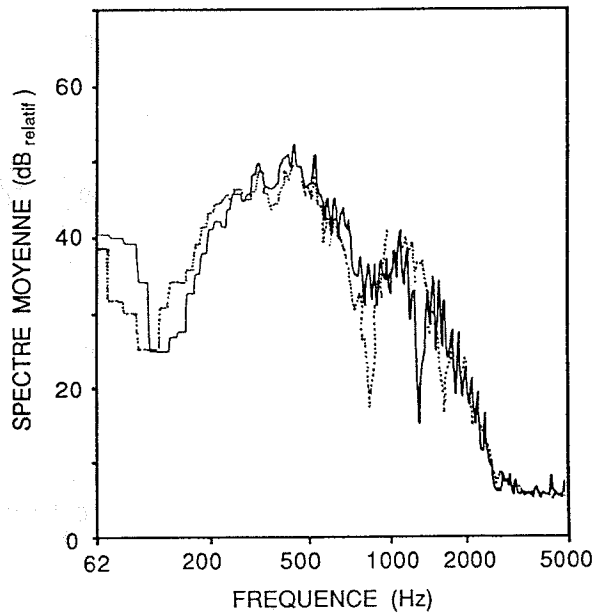


Fig. 42 : spectres moyennés du cor avec sourdine sèche tube interne en position la plus courte (—) et la plus longue (---).

La sourdine son-bouché, propre à la panoplie du cor, a une action sur le spectre presque identique à celle de la main seule. Une petite différence est perceptible sur les hautes fréquences, plus atténuées à partir de 2 000 Hz dans le dernier cas. Sur la figure 43 sont comparées les moyennes spectrales du cor seul et avec la sourdine son-bouché ; l'atténuation sur tout le spectre est irrégulière à partir de 150 Hz, atteignant 18 dB vers 400-500 Hz, zone où l'instrument sans sourdine a un maximum.

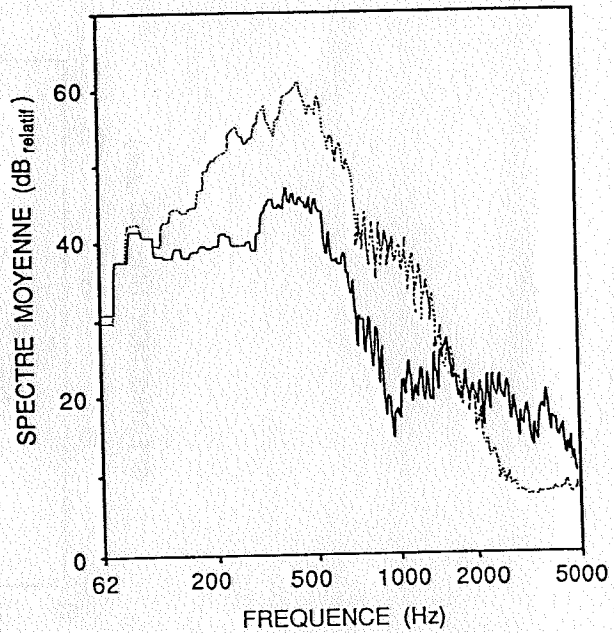


Fig. 43 : spectres moyennés du cor sans (---) et avec sourdine son-bouché (—).

Le **tuba** est très pauvre en sourdines car son type de perce est tel que la moindre modification au niveau du pavillon perturbe radicalement son fonctionnement, comme nous l'avons vu précédemment. De plus, cette perce, à la différence de celle de la trompette, n'est pas normalisée et les variations peuvent être très importantes d'une marque d'instrument à une autre. Les dimensions de la sèche du tuba, seul modèle disponible sur le marché, présentent aussi des disparités importantes. Ainsi, le filtrage obtenu sur le plan spectral et en retour sur le plan perceptif sera très différent d'une sourdine à l'autre. Les courbes suivantes (figure 44) représentent la comparaison pour le même instrument de deux modèles de sourdines très opposés à la fois par la forme et la taille ; sur la figure 44 a, superposé au spectre de l'instrument seul, est représenté le filtrage obtenu pour une grande sèche dont la forme imite parfaitement la forme du pavillon alors que sur la figure 44 b, nous avons le filtrage pour la petite sourdine tronconique qui ne s'adapte pas bien à ce même pavillon. Pour la première sourdine, la résonance de Helmholtz est très basse en fréquence et l'atténuation obtenue assez régulière dans la partie basse du spectre, la partie haute étant quasi identique. Pour la sourdine tronconique on retrouve un profil « classique ».

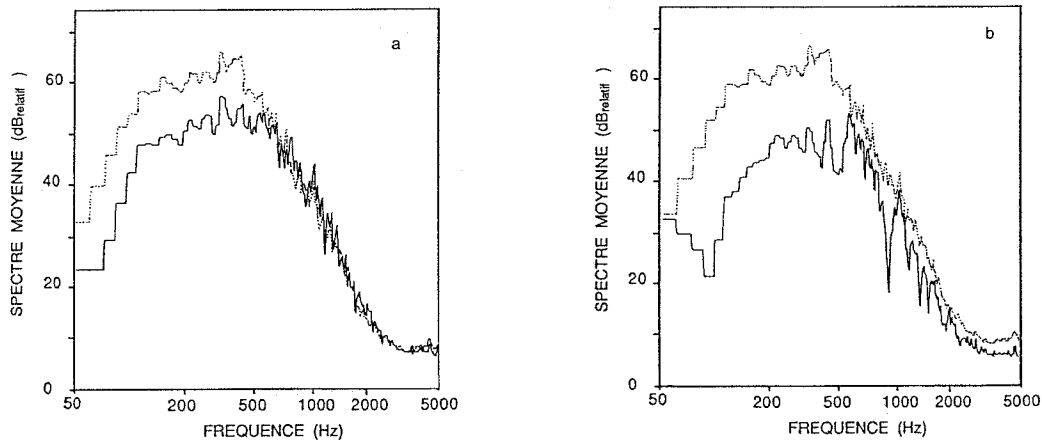


Fig. 44 : spectres moyennés du tuba sans (---) et avec (—) deux modèles a, b d'une sourdine sèche .

Nouvelles sourdines, exemple de la wawa pour le cor

La trompette, le cornet et le trombone sont, parmi les cuivres, les seuls qui possèdent une sourdine wawa. Devant l'intérêt manifesté pour une telle sourdine, à la fois par les cornistes et par les compositeurs, et étant donné les progrès importants réalisés ces dix dernières années dans la recherche acoustique sur les instruments à vent (aussi bien dans le domaine de la caractérisation que dans celui de la prédiction du comportement), nous nous sommes lancés dans le développement d'une telle sourdine pour le cor.

Prévoir l'effet d'une sourdine « virtuelle » sur la sonorité de l'instrument, c'est-à-dire pouvoir écouter le résultat sonore ou pouvoir déduire la forme de la sourdine à partir d'une sonorité donnée, n'est pas encore réalisable aujourd'hui à partir des simulateurs sonores des instruments traditionnels (Adrien et al.) car ces derniers n'ont pas encore atteint un degré de finesse tel qu'ils permettent une utilisation optimale en tant qu'outil pour la facture.

Afin de déterminer une forme approximative de départ, nous avons projeté au cor les effets perceptifs produits par les sourdines wawa de la trompette et du trombone et nous avons intégré, pour arriver à cette forme, des spécifications sur l'encombrement et le poids.

Une bonne sourdine doit satisfaire certaines exigences, comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, et, pour être acceptée par les instrumentistes,

elle ne doit pas modifier de manière très sensible ce qu'ils ressentent, c'est-à-dire la justesse et la réponse de l'instrument. Cela détermine certaines conditions sur l'harmonicité et l'amplitude des pics de résonance de l'instrument. Voici, reportées sur la figure 45, les modifications de la fréquence des pics de résonance mesurées pour une sourdine wawa de trombone de bonne qualité et pour trois positions du petit tube (stem) (en % par rapport aux fréquences de l'instrument seul). A l'exception du cas sans stem, les variations de l'harmonicité (0,43 % en moyenne sur tous les pics), sont jugées par les instrumentistes comme acceptables. A la figure 46, nous retrouvons les mêmes résultats mais cette fois calculés par le programme de prédiction Résonance⁸ (ref. Kergomard).

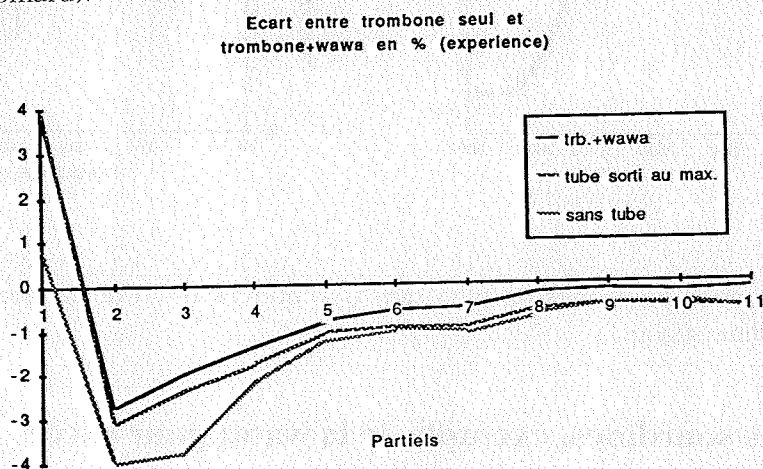


Fig. 45 : écarts en % de la fréquence des pics du trombone sans et avec sourdine wawa (expérience).

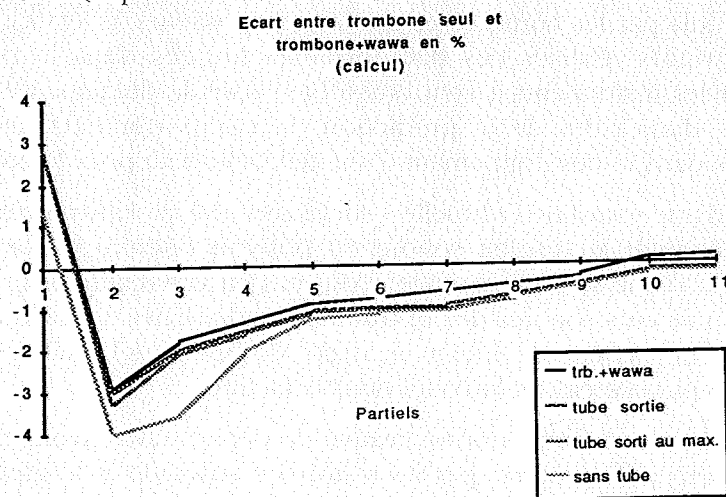


Fig. 46 : écarts en % de la fréquence des pics du trombone sans et avec sourdine wawa (calcul).

Une des raisons de l'inexistence d'une sourdine wawa de cor doit être rattachée, peut-être, dans la difficulté que nous avons rencontrée à trouver une forme qui ne perturbe pas trop les régimes d'oscillation de l'instrument ; de plus, la présence de la sourdine dans le pavillon ne permet plus la correction naturelle de l'alignement des pics de résonance que réalise le musicien avec sa main droite.

Heureusement, le programme de prédiction utilisé permet de tester des dizaines et des dizaines de modifications de la forme de départ. Ces modifications portent sur les paramètres principaux de la sourdine que sont le volume, l'enfoncement, le diamètre et la longueur du petit tube (stem) ainsi que la forme du petit pavillon de sortie (« cookie cutter ») de la sourdine, sans avoir à construire ces prototypes et à vérifier leur validité par des essais avec les instrumentistes. La sortie des calculs est généralement une courbe d'impédance avec un relevé précis des fréquences de résonance. Ainsi, après de nombreux essais, une forme permettant de satisfaire les exigences précédemment mentionnées a été dégagée par le calcul. La figure 47 représente la courbe d'impédance d'entrée du cor calculée avec cette dernière sourdine (cowa 6). La variation de l'harmonicité des pics obtenus à partir de cette courbe est superposée au résultat d'un de nos premiers calculs (cowa 2) sur la figure 48. Notons, pour ce prototype, qu'au vu du mauvais alignement des pics, la sourdine serait très difficilement utilisable.

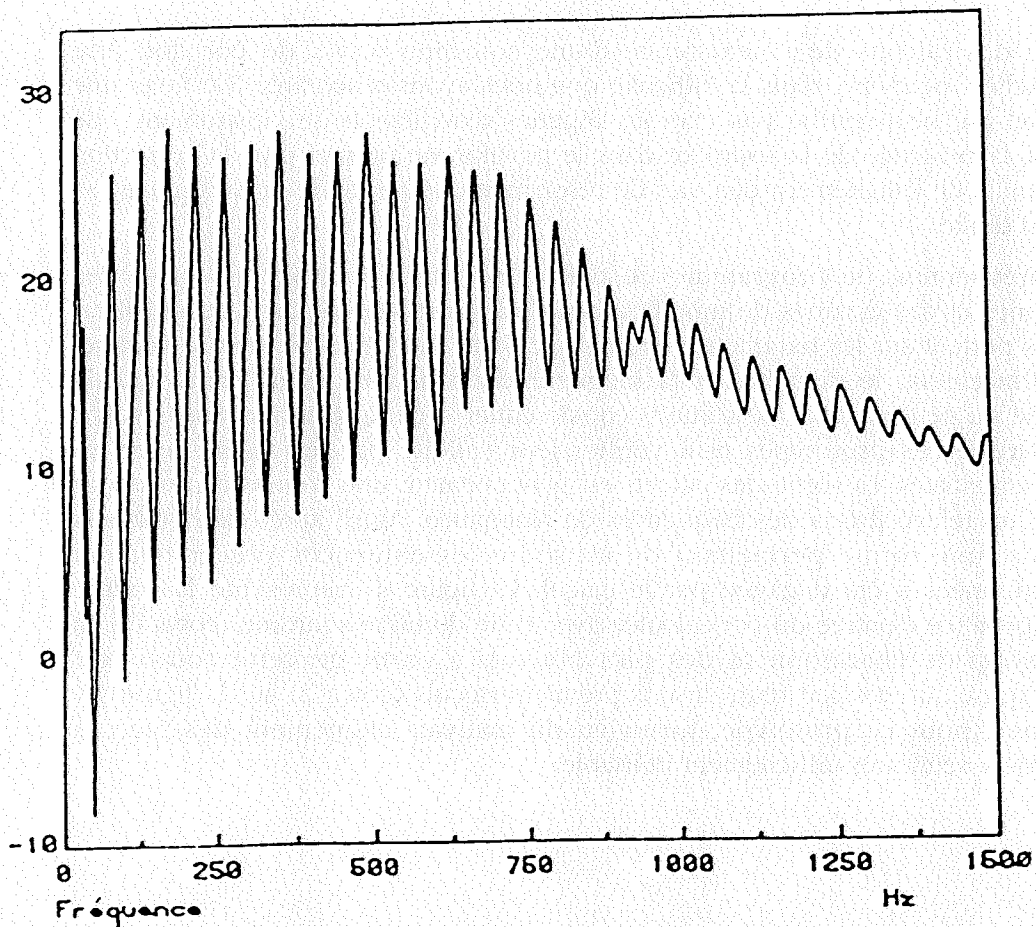


Fig. 47 : courbe calculée de l'impédance d'entrée d'un cor avec sourdine wawa.

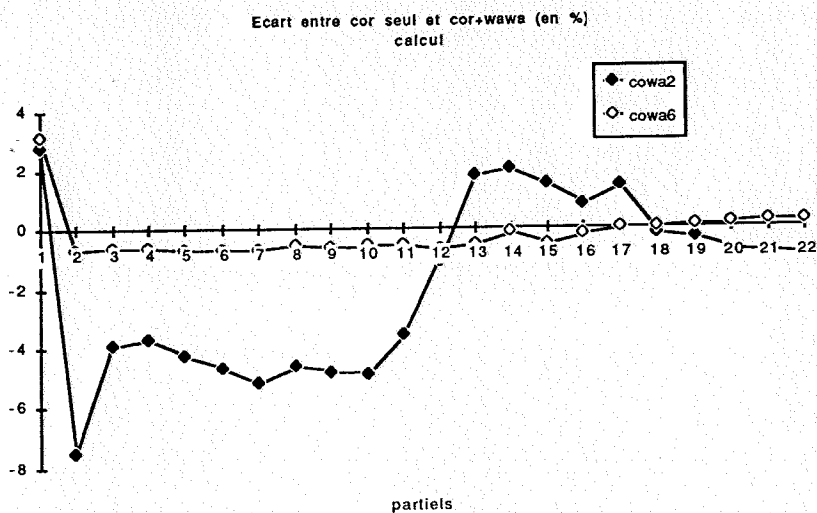


Fig. 48 : écarts en % de la fréquence des pics du cor sans et avec sourdine wawa, calcul pour deux prototypes.

La forme étant déterminée, les étapes suivantes peuvent être abordées : la construction, dans laquelle le choix des matériaux intervient, puis les essais *in vivo*, qui permettront, après plusieurs allers-retours entre l'instrumentiste et le calcul, d'affiner le modèle.

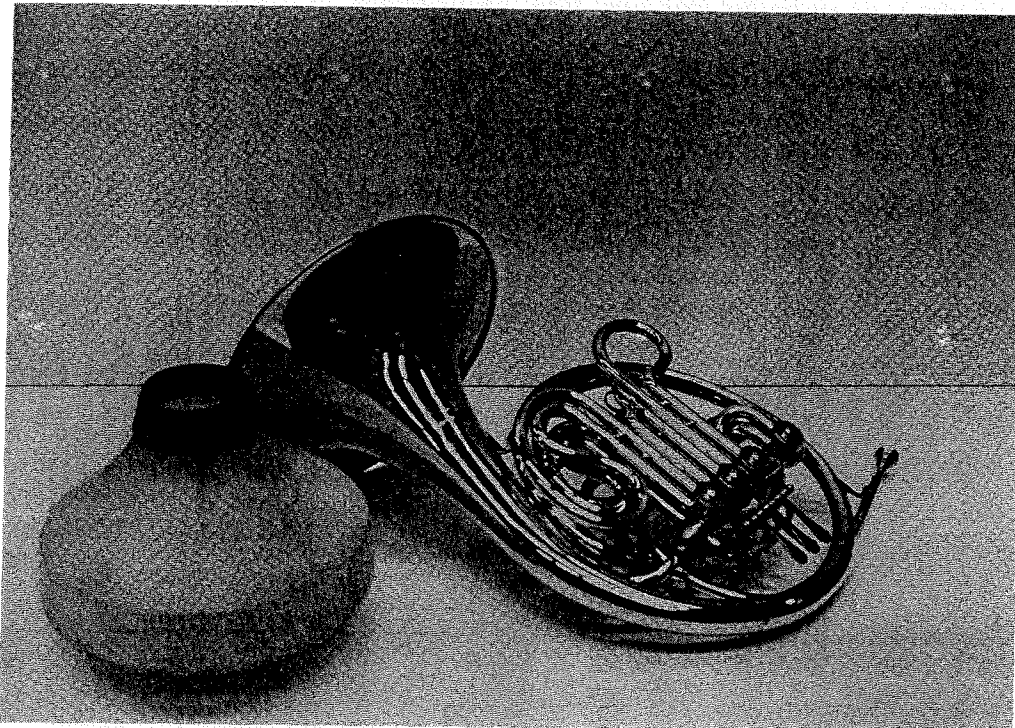


Fig. 49 : premier modèle construit d'une sourdine wawa pour le cor.

La figure 49 représente une photo d'un premier modèle construit à partir de cowa 6 ; les premiers essais ont fait apparaître que cette sourdine s'avère d'une « facilité » remarquable d'émission et, de plus, l'altération de la justesse est, comme nous l'avons vu, presque constante sur tout le registre, permettant ainsi de la corriger globalement une fois pour toutes. L'effet wawa (passage fermé-ouvert avec la paume de la main) est très convaincant. Lorsque le tube interne est ôté, la sonorité obtenue est très voisine de celle de son-bouché habituellement émise en bouchant « complètement » l'instrument à l'aide du poing ou d'une sourdine spéciale, comme nous l'avons vu précédemment.

Pour visualiser les transformations spectrales possibles avec cette sourdine, nous avons utilisé la méthode précédemment décrite. Ainsi, la figure 50 a représente la comparaison entre l'instrument seul (en pointillés) et avec sourdine wawa, le tube étant rentré (en trait plein). La comparaison pour le tube ôté est reportée sur la figure 50 b. Si l'on retrouve bien l'allure générale des transformations caractéristiques de la sourdine wawa, il faut cependant

noter que les effets sont moins marqués par rapport à ceux des sourdines du trombone ou de la trompette. La comparaison des transformations spectrales entre le trombone et le cor pour la sourdine wawa, avec une même position de tube interne, fait apparaître une différence d'atténuation pour les fondamentaux. Pour le cor, la sourdine n'atténue pas autant, et l'influence du tube interne, qui se traduit par une zone formantique, ne ressort pas aussi nettement.

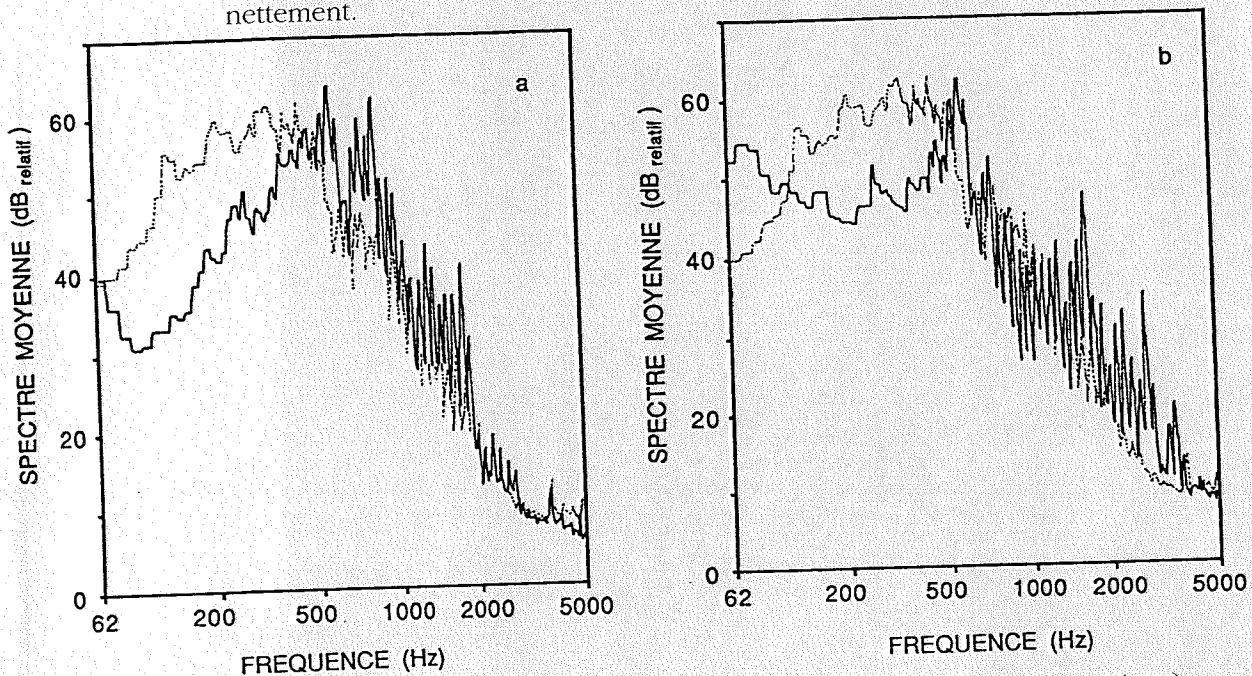
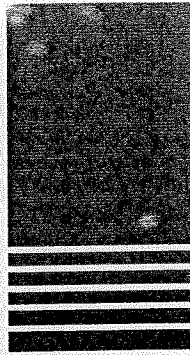


Fig. 50 : spectres moyennés du cor seul (---) et avec sourdine wawa (—) stem en position normale (a) et sans stem (b).

Ces différences se retrouvent également sur le plan perceptif, en particulier la zone formantique est bien moins isolée des autres composantes spectrales pour produire un effet clairement perceptible, que l'on trouve avec les sourdines de trompette ou de trombone. La sonorité de la sourdine wawa de cor est en fait plus proche de celle de la sourdine cup du trombone. En guise de conclusion nous rapporterons la remarque d'un compositeur à qui nous faisons ces commentaires après une démonstration de la sourdine : « ...ce qui m'importe, en tant que compositeur, ce n'est pas tellement que la sonorité ne soit pas tout à fait celle recherchée, mais que cette sourdine **existe** avec sa différence spécifique et qu'elle puisse être utilisée ».

-
- 1 Impédance acoustique : rapport de la pression à la vitesse acoustique.
 - 2 Fondamental : premier harmonique de la décomposition en sons purs d'un son complexe périodique.
 - 3 Longueur d'onde : distance que parcourt l'onde pendant une période.
 - 4 Résonateur de Helmholtz : cavité, le plus souvent sphérique, à parois rigides, comportant une ouverture permettant la communication entre l'air contenu dans le résonateur et le milieu extérieur.
 - 5 Débit acoustique : produit de la vitesse par la section du tube.
 - 6 Régime d'oscillation : collaboration du mécanisme non linéaire d'excitation avec plusieurs pics de l'impédance d'entrée de l'instrument pour maintenir une oscillation stable.
 - 7 Sonagramme : autre type d'analyse du signal (dans le plan fréquence-temps). L'intensité des composantes est donnée par le degré de noirceur du trait.
 - 8 Résonance : programme permettant, à partir des données géométriques d'un instrument (perce longitudinale, dimensions et positions des trous latéraux, etc.) et de la température, de calculer la courbe d'impédance d'entrée ainsi que les profils de pression et vitesse acoustique dans l'instrument.



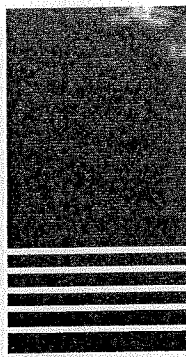
BIBLIOGRAPHIE

Première partie

- Bate P. - *The Trumpet and Trombone*. Benn (1966).
- Bevan C. - *The Tuba Family*. Faber (1978).
- Blatter A. - *Instrumentation/Orchestration*. Longman (1980).
- Boulez P. - *Composition et instruments, évolution et influences réciproques*. Conférence au 2^e stage de l'Atelier de recherche instrumentale IRCAM (1983).
- Crown T. - *Mostly Mozart's Mutes*. International Trumpet Guild Journal vol. 8, n° 3 (1984) 9-14.
- Gregory R. - *The Trombone, the Instrument and its Music*. Faber (1973).
- Gregory R. - *The Horn, a Comprehensive Guide to the Modern Instrument and its Music*. Faber (1961).
- Laplace M. - *La Trompette et le Cornet dans le jazz et la musique populaire II*. Brass Bulletin No. 43 (1983) 61-65.
- Mersenne M. - *Harmonie universelle*. Baudry, Paris (1636).
- Morley-Pegge R. - *The French Horn*. Benn (1960).
- Nichols K. - *The Muted Brass*. Storyville No. 30 (1970) 203-6.
- Osthoff W. - *Trombe Sordine*. Archiv für Musikwissenschaft XIII (1975) 77-95.
- Sloan G. - *The Talking Trombone in Jazz*. International Trombone Association Journal vol. 6 (1978) 12-15.
- Schuller G. - *Horn Technique*. Oxford University Press (1962).
- Wick D. - *Trombone Technique*. Oxford University Press (1971).

Deuxième partie

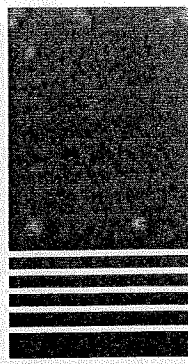
- Adrien J.M., Caussé, R. and Ducasse E. - *Dynamic Modeling of Stringed and Wind Instruments, Sound Synthesis by Physical Models.* Proceedings I.C.M.C.1988, Cologne, 265-276.
- Ancell J.E. - *Sound Pressure Spectra of a Muted Cornet.* Journal of the Acoustical Society of America vol. 39, No. 9 (September 1960) 1101-1104.
- Backus J. - *The Acoustical Foundations of Music.* Norton & Company Inc. New York, 1977.
- Backus J. - *Input Impedance Curves for the Brass Instruments.* Journal of the Acoustical Society of America vol. 60, No. 2 (August 1976) 470-480.
- Benade A.H. - *The Physics of Brasses.* Scientific American, july 1973, 24-35.
Traduit en français dans *Sons et Musique*, Belin, 1980.
- Benade A.H. - *Fundamentals of Musical Acoustics.* Oxford University Press. New-York, 1976.
- Berlioz H. - *Traité d'instrumentation et d'orchestration.* Ed. Shonenberger. Paris, 1855.
- Caussé R. - *Le timbre, métaphore pour la composition.* Actes du Séminaire sur le timbre, Paris. Ed. Christian Bourgois, 1991.
- Caussé R. et Sluchin B. - *Transformations introduites par les sourdines sur le spectre sonore des instruments de la famille des cuivres.* Actes du 11^e I.C.A., vol.4, 351-353. Paris, 1983.
- Caussé R. Kergomard J. et Lurton X. - *Input Impedance of Brass Musical Instruments - Comparison Between Experiment and Numerical Models.* Journal of the Acoustical Society of America vol. 75 (Janvier 1984) 241-254.
- Koehlin C. - *Traité de l'orchestration.* Max Eschig (1954).
- Meynial X. et Kergomard J. - *Mode d'emploi du programme Résonance* (non publié).
- Sluchin B. and Caussé R. - *Sourdines des cuivres.* Brass Bulletin, 57 (1987), 20-39.



FIGURES

- Fig. 1 : Beethoven - *Rondino*.
Fig. 2 : Weber - *Concerto pour clarinette*.
Fig. 3 : les cuivres avec leurs sourdines.
Fig. 4 : sourdines sèches de différents matériaux.
Fig. 5 : sourdines sèches pour cor (coupe longitudinale).
Fig. 6 : Gershwin - *Rhapsody in Blue*.
Fig. 7 : stem, partie principale et wawa complète.
Fig. 8 : sourdines de type mega.
Fig. 9 : sourdines silencieuses (whisper mutes).
Fig. 10 : sourdine de son bouché.
Fig. 11 : plunger.
Fig. 12 : derby, chapeau (hat).
Fig. 13 : sourdine bucket ou velvet.
Fig. 14 : sourdine bol (cup mute).
Fig. 15 : sourdine buzz-wow.
Fig. 16 : disponibilité des sourdines.
Fig. 17 : indications concernant les utilisations de sourdines.
Fig. 18 : Bartók - *Le Mandarin merveilleux*.
Fig. 19 : Berg - *Concerto de chambre*.
Fig. 20 : Bartók - *Concerto pour orchestre*.
Fig. 21 : Berg - *Six pièces op. 6*.
Fig. 22 : Varèse - *Octandre*.
Fig. 23 : impédance d'entrée d'une trompette, les fréquences des pics mesurés et des partiels joués.
Fig. 24 : impédance d'entrée d'une trompette avec sourdine sèche, les fréquences des pics mesurés et des partiels joués.
Fig. 25, 26 : impédances d'entrée d'un trombone et d'un tuba sans (—) et avec (...) disque troué fermant le pavillon.

- Fig. 27 : la forme de la colonne d'air dans le trombone (à gauche) et les cinq premières ondes stationnaires de pression correspondant aux maxima de la courbe d'impédance.
- Fig. 28 : impédance d'entrée d'un trombone avec une sourdine sèche dont le fond vibre anormalement.
- Fig. 29 : variation des deux premières résonances du trombone en fonction de l'enfoncement (E en cm) de la sourdine dans le pavillon.
- Fig. 30 : fréquence de Helmholtz (fH) d'une sourdine sèche du trombone et fréquence du pic parasite pour deux longueurs extrêmes de l'instrument (F1 et F6) en fonction du volume (V) de la sourdine.
- Fig. 31 : fréquence de Helmholtz (fH) d'une sourdine sèche du trombone et fréquence du pic parasite (F1) en fonction de la longueur du tube à l'entrée de la sourdine.
- Fig. 32, 33 : transitoires en fonction du rang de l'harmonique pour la note si bémol₂ du trombone avec (—) et sans (- - -) sourdine dans le cas de la sèche (32) et de la whisper (33).
- Fig. 34 : diagrammes de directivité du trombone (—) avec sourdine sèche (- - -) et avec sourdine wawa, stem tiré au maximum (···), mesurés pour trois fréquences à 30 cm du pavillon.
- Fig. 35 : diagrammes de directivité du trombone (—) avec sourdine velvet (- - -) et avec sourdine bol (...), mesurés pour la fréquence 4 000 Hz à 30 cm du pavillon.
- Fig. 36 : spectres moyennés du trombone sans (- - -) et avec sourdine sèche (—).
- Fig. 37 : sonagramme d'un si bémol₂ au trombone avec sourdine wawa en changeant l'ouverture de la sourdine à la main.
- Fig. 38 : spectres moyennés du trombone sans (- - -) et avec wawa (—) stem rentré (a), stem sorti (b) et sans stem (c).
- Fig. 39 : spectres moyennés du trombone sans (- - -) et avec sourdine bol (—) fermeture normale (a), fermeture serrée (b).
- Fig. 40 : spectres moyennés du trombone avec sourdines sèches en bois (—) et en carton (---).
- Fig. 41 : spectre moyenné du trombone avec sourdine sèche métallique dont l'assemblage est défectueux et les parois vibrent exagérément.



- Fig. 42 : spectres moyennés du cor avec sourdine sèche tube interne en position la plus courte (—) et la plus longue (- - -).
- Fig. 43 : spectres moyennés du cor sans (- - -) et avec sourdine son-bouché (—).
- Fig. 44 : spectres moyennés du tuba sans (- - -) et avec (—) deux modèles a , b d'une sourdine sèche .
- Fig. 45 : écarts en % de la fréquence des pics du trombone sans et avec sourdine wawa (expérience).
- Fig. 46 : écarts en % de la fréquence des pics du trombone sans et avec sourdine wawa (calcul).
- Fig. 47 : courbe calculée de l'impédance d'entrée d'un cor avec sourdine wawa.
- Fig. 48 : écarts en % de la fréquence des pics du cor sans et avec sourdine wawa, calcul pour deux prototypes.
- Fig. 49 : premier modèle construit d'une sourdine wawa pour le cor.
- Fig. 50 : spectres moyennés du cor seul (- - -) et avec sourdine wawa (—) stem en position normale (a) et sans stem (b).