



ETUDE ACOUSTIQUE DE L'EMISSION MULTIPHONIQUE AUX CUIVRES

CASTELLENGO Michèle - CNRS - Lab. Acoustique - Université Paris VI  
CAUSSE René et SLUCHIN Benny - IRCAM, 31, rue Saint-Merri 75004-PARIS

L'émission, dite "normale" d'un instrument à vent, consiste dans l'entretien d'un partiel donné. Le son résultant est périodique, abstraction faite des petites fluctuations inévitables dues aux irrégularités de l'embouchure. La "multiphonie" se produit lorsqu'il est possible d'identifier plusieurs hauteurs dans l'émission d'un son entretenu [1]. Elle correspond généralement à la production simultanée de plusieurs partiels non harmoniques.

Production d'un son multiphonique au trombone à coulisse.

Les phénomènes que nous décrivons sont communs à tous les cuivres : trompette, tuba, cor et trombone. Plusieurs types de sons multiphoniques sont possibles mais nous nous limiterons ici à un seul.

Sur un partiel donné de rang  $n$ , l'instrumentiste "décentre" le son tout en maintenant la pression de l'air dans la bouche [2]. En opposition à la situation normale où la fréquence des lèvres correspond à celle du partiel à émettre, l'instrumentiste ne cherche plus à attaquer avec précision, mais "entre" deux partiels. L'émission multiphonique peut être obtenue facilement en baissant la fréquence du partiel : elle apparaît progressivement et se stabilise en donnant la sensation d'un son "roulé". Nous sommes bien restés dans le régime du partiel  $n$  : le passage au partiel inférieur ( $n - 1$ ) s'effectue avec un saut, indice d'un changement de régime. En montant la fréquence du partiel  $n$ , on passe au partiel supérieur sans qu'il y ait production de ce multiphonique.

On émet facilement ce son multiphonique sur les partiels de rang 3 à 6, sur le 2, plus difficilement.

Perception et notation musicale.

L'effet est variable selon la tessiture et selon les auditeurs. Trois cas sont possibles :

- perception d'un intervalle caractéristique (quarte, tierce, seconde),
- apparition d'un son très grave situé une ou deux octaves plus basses que le partiel émis,
- sensation mal définie d'un son complexe interrompu régulièrement.

Prenons l'exemple du son Fa<sub>2</sub> (174 Hz) produit sur un trombone à coulisse comme 4<sup>ème</sup> partiel du tuyau (fondamental conventionnel Fa<sub>0</sub> = 43,5 Hz).

Au moment de l'émission multiphonique, le son grave Réb<sub>0</sub> (34,8 Hz), apparaît ainsi que Réb<sub>2</sub> qui forme une tierce

son normal | multiph.

Fa<sub>2</sub> 4<sup>e</sup> partiel | Réb<sub>0</sub>



M. CASTELLENGO, R. CAUSSE, B. SLUCHIN,

majeure avec Fa<sub>2</sub>. Certains auditeurs entendent l'intervalle de 3<sup>ce</sup>, d'autres n'identifient que le son grave. Enfin, pour d'autres, 34 Hz n'est pas perçu comme une hauteur mais comme une suite d'impulsions.

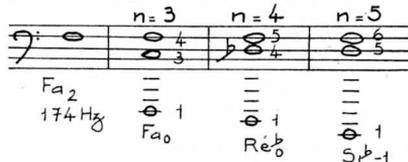
#### Formulation du phénomène multiphonique

Soient F et F' les fréquences de deux partiels voisins du tuyau  $F > F'$ , on peut trouver un rapport numérique de la forme  $\frac{m}{m+1}$  (m entier) qui s'approche au mieux du rapport  $F/F'$ . Le son grave apparaissant lors de l'émission multiphonique a pour fréquence  $F_0 = \frac{F}{m+1}$  et l'intervalle caractéristique I est

égal à  $\frac{m+1}{m}$ . Ce son grave perçu comme fréquence d'interruption ne dépend

donc que du rapport de fréquence entre les deux partiels voisins : celui qui correspond au mode d'émission et celui qui lui est immédiatement inférieur. Dans le cas où les partiels sont voisins de la série des harmoniques du partiel 1, m se confond avec le rang n du partiel. On remarquera que l'intervalle I fait partie intégrante de la série harmonique du son grave que l'on peut considérer comme le nouveau fondamental.

Nous donnons en exemple la notation musicale des multiphoniques obtenus sur une même son Fa<sub>2</sub> joué comme partiel 3, 4 et 5 du tuyau.



#### Analyse du signal acoustique : transition du son normal au son multiphonique.

##### a) Sonagramme en bande étroite (filtre de 10 Hz) Fig. 1.

Sur la partie gauche de la figure, on voit les 5 premiers harmoniques du son Fa<sub>2</sub>, 4<sup>ème</sup> partiel de Fa<sub>0</sub> ; l'analyse commence après l'attaque. La transition vers le son multiphonique est caractérisée par l'apparition de fréquences collatérales situées de part et d'autre des harmoniques et dont le nombre croît progressivement. On retrouve bien le son grave [ ici  $F_0 = F/5 = 34,8$  Hz] dont les premières composantes sont absentes. La plus basse est située immédiatement au-dessous du 1<sup>er</sup> harmonique de Fa<sub>2</sub> et forme avec lui l'intervalle caractéristique perçu dans le son multiphonique [ ici  $I = 5/4$  soit une tierce majeure].

Ce mode d'analyse est en bon accord avec la perception musicale des phénomènes. Pour tenter de comprendre le fonctionnement de l'instrument et tester l'hypothèse de modulations (amplitude ou fréquence), nous avons procédé à d'autres analyses.

##### b) Sonagramme en bande moyenne (filtre de 90 Hz) Fig. 2

L'amorçage de l'émission multiphonique se traduit cette fois par une oscillation de la fréquence bien visible sur les harmoniques 2, 5 et 8. On compte 6 à 7 oscillations dans 200 ms ce qui correspond bien à la fréquence de 34 Hz trouvée précédemment. La partie stable apparaît très complexe. On lit une variation de fréquence de la 1<sup>ère</sup> composante et une interruption régulière des autres composantes.

##### c) Analyse spectrale différentielle (ASD)

Ce mode d'analyse permet de mesurer avec précision les variations de fréquence et d'amplitude d'un signal [3]. L'analyse de la bande 1 centrée sur 174 Hz a confirmé une modulation de fréquence de l'harmonique 1, 34 fois par seconde [4] pendant la transition du son normal au son multiphonique.



M. CASTELLENGO, R. CAUSSE, B. SLUCHIN

---

### Phénomènes voisins se produisant à l'attaque

Dans le jeu ordinaire des cuivres il arrive qu'une note soit mal attaquée : on entend alors un son instable, roulé, précédant l'apparition du partiel que l'on veut émettre. L'analyse de l'attaque de tels sons (Fig. 3 et Fig. 4) montre :

- qu'il s'agit d'un phénomène de même nature que l'émission multiphonique : modulation de fréquence.
- que la fréquence de modulation ne dépend pas du musicien (débutant ou virtuose confirmé) mais seulement de l'intervalle entre deux partiels consécutifs comme nous l'avons formulé plus haut.

Bien évidemment, ces phénomènes sont fugitifs et involontaires alors que dans l'émission multiphonique l'instrumentiste en contrôle le moment de production et la durée.

Nous pensons que cette remarque peut être une intéressante contribution à la connaissance du transitoire d'attaque des instruments à embouchure et en particulier pour la synthèse des sons.

### Bibliographie

- [1] M. Castellengo "Sons Multiphoniques aux instruments à vent"  
Rapport IRCAM 34 (1982).
- [2] D.W. Martin, "Lip vibrations in a cornet mouthpiece".  
J. Acoust. Soc. Am, 13 (3), 305-308 (1942)
- [3] P. Pério - V. Gibiat - F. Wu - S. Chaintreuil.  
"Analyse spectrale différentielle : une nouvelle approche de la notion de fréquence instantanée"  
9ème colloque sur le Traitement du Signal et ses Applications,  
Nice, mai 1983.
- [4] M. Castellengo, S. Chaintreuil : "Analyse comparée de divers sons multiphoniques instrumentaux".  
11ème Congrès International d'Acoustique, Paris, juillet 1983.

