

# Le Didjeridoo

La Claribol en Si Binette

16 avril 2005

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Présentation générale</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Modélisation basique du didjeridoo</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Modélisation plus détaillée</b>	<b>9</b>
3.1	Conditions aux limites . . . . .	9
3.2	Déformation du tube . . . . .	9
3.3	Non-linéarités . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Le rôle de l'instrumentiste</b>	<b>12</b>
4.1	Le "manque" d'embouchure . . . . .	12
4.2	La respiration . . . . .	12
4.3	La voix . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>15</b>

*”Au commencement, tout était froid et sombre. Bur Buk Boon était en train de préparer du bois pour le feu afin d’apporter la protection de la chaleur et de la lumière à sa famille. Bur Buk Boon ajoutait du bois dans le feu lorsqu’il remarqua qu’une bûche était creuse et qu’une famille de termites était fort occupée à grignoter le bois tendre du centre de la bûche. Comme il ne voulait pas blesser les termites, Bur Buk Boon apporta la bûche creuse à sa bouche et commença à souffler. Les termites furent projetées dans le ciel nocturne, formèrent les étoiles et la Voie Lactée et illuminèrent le paysage. Et pour la première fois le son du didjeridoo bénit Mère la Terre, la protégeant elle et tous les esprits du Temps des Rêves, avec ce son vibrant pour l’éternité...”*

*[une légende sur l’origine du didjeridoo]*

# Chapitre 1

## Présentation générale

Le didjeridoo des aborigènes d’Australie est un instrument existant depuis plusieurs milliers d’années. Il est utilisé traditionnellement dans des cérémonies rituelles en l’honneur des grands ancêtres, créateurs du monde à l’époque du « Temps des Rêves ».

Le mot « didjeridoo » serait en fait issu d’une interprétation occidentale du son de l’instrument. Mais la culture aborigène comprenant plus de 300 langues distinctes et autant de mots différents pour désigner cet instrument, il semble plus aisé d’utiliser ce terme devenu compréhensible par tous. L’un des termes les plus répandus après celui-ci est « Yidaki », comprenant lui-même plusieurs variantes telles que « Yiraki » ou « Yireki ».

Sa facture est extrêmement simple : elle consiste en une branche, ou un tronc, d’eucalyptus plus ou moins droit creusé par l’action successive du feu et des termites afin de produire un tube légèrement évasé. La longueur des didjeridoos du centre de l’Australie est typiquement d’un mètre, tandis que ceux d’« Arnhem Land » sont longs d’environ 1,50 m.



Les long didjeridoos sont aujourd’hui plébiscités car ils permettent une plus large palette d’effets sonores. Dans tous les cas, l’« embouchure » a un diamètre interne d’environ 50mm et le « pavillon », un diamètre d’environ 100mm. Toutefois, ces dimensions peuvent varier significativement d’un instrument à l’autre, même s’ils ont été élaborés par le même facteur. L’épaisseur de la paroi de l’instrument varie entre 5 et 10mm en moyenne. L’embouchure est recouverte d’une résine afin d’améliorer le confort de l’instrumentiste. La paroi externe de

l'instrument est lissée et recouverte de motifs totémiques, généralement peints en noir, blanc, orange, et jaune.



Pour jouer du didjeridoo, l'instrumentiste doit fermer l'embouchure avec sa bouche et mettre la colonne d'air en vibration en soufflant tout en faisant vibrer les lèvres. La prise d'embouchure est très similaire de celle d'un cuivre tel que le tuba.

Toutefois, du fait que l'instrumentiste doit jouer sans discontinuité, il doit maîtriser la technique de la « respiration circulaire ».

En effet, du fait qu'il n'est pas possible physiologiquement d'inspirer et d'expirer simultanément (l'être humain ne possède qu'une seule trachée-artère), cette technique repose sur le fait qu'il est par contre possible de maintenir une pression d'air sans souffler l'air des poumons, en utilisant la bouche comme le sac d'air d'une cornemuse. Avec ce réservoir d'air maintenant la pression, l'instrumentiste peut inhaler rapidement une petite quantité d'air par ses narines afin de remplir ses poumons, ceci lui permettant de continuer à souffler sans s'essouffler (figures 1.1, 1.2).

Il faut remarquer cependant que cette technique n'est pas réservée aux joueurs de didjeridoo, mais est aussi utilisée notamment par les joueurs d'instruments à vent pour dissimuler leurs respirations.

Il n'existe pas beaucoup d'études sur le didjeridoo et sur ses techniques de jeu, toutefois quelques calculs et mesures simples peuvent permettre d'avoir une bonne appréciation du fonctionnement de cet instrument.



FIG. 1.1 – Étape 1 : l'expiration dans un premier temps s'effectue en expulsant l'air contenu dans les poumons.

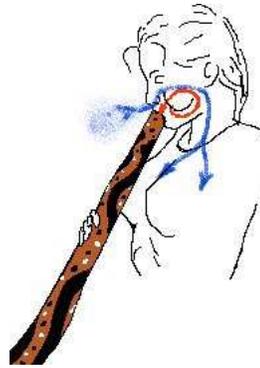


FIG. 1.2 – Étape 2 : puis ce sont les joues qui prennent le relais et, en bloquant l'arrière gorge, permettent d'inspirer par le nez.

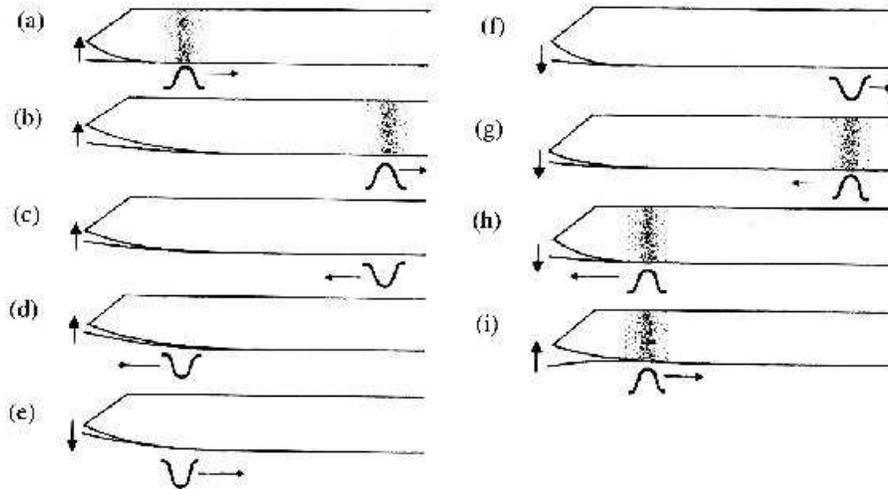
## Chapitre 2

# Modélisation basique du didjeridoo

Une modélisation classique du didjeridoo assimile celui-ci à un tube cylindrique parfait. Celle-ci a l'avantage d'être simple et déjà étudiée, mais est assez éloignée de la réalité. En effet, cet instrument présente de nombreuses irrégularités physiques en raison de son mode de fabrication. Ces irrégularités sont, entre autres, l'évasement des extrémités du tube, ses courbures éventuelles, et la rugosité des parois. Néanmoins, ce modèle est suffisant pour comprendre le fonctionnement de base de l'instrument. Nous allons donc tout d'abord le présenter, puis effectuer par la suite une analyse plus précise.

Le tube du didjeridoo est considéré comme semi-ouvert : une extrémité est fermée par les lèvres de l'instrumentiste, l'autre est située à l'air libre. De plus, le jeu est réalisé en fournissant une excitation forcée provoquée par la vibration des lèvres. On peut remarquer que ces caractéristiques sont similaires à celles des instruments appartenant à la famille des cuivres. Par conséquent, les méthodes de modélisation existantes pour ceux-ci peuvent être ré-exploitées.

La représentation traditionnelle des lèvres est celle d'une soupape contrôlée en pression. Le mécanisme d'oscillateurs couplés (tube+soupape) tend à synchroniser les oscillations de cette soupape avec le mouvement de la surpression acoustique se propageant dans le tube. Le diagramme ci-dessous représente le fonctionnement de ce système au cours d'un cycle :



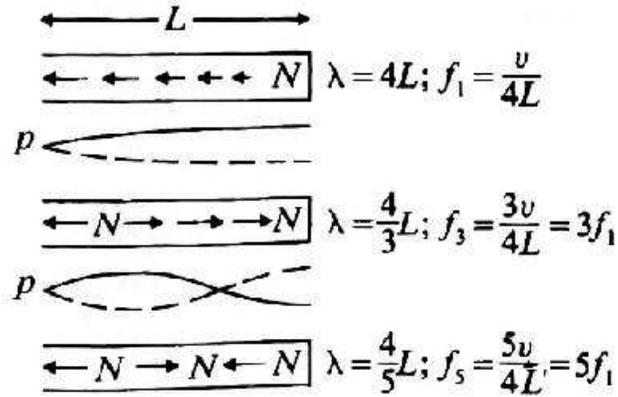
La surpression est tout d'abord produite par les lèvres (a). Celle-ci se propage jusqu'à l'extrémité du tube (b), et se trouve réfléchi de manière inversée en raison du saut d'impédance acoustique à cet endroit (c). La surpression poursuit sa propagation jusqu'aux lèvres (d). Celles-ci se trouvant fermées à cette étape du cycle, l'impédance acoustique y est très élevée. Ceci provoque à nouveau un phénomène de réflexion, mais sans inversion cette fois (e). La surpression repart donc vers l'extrémité ouverte du tube (f), où elle est réfléchi comme précédemment (g) et revient en direction des lèvres (h). Celles-ci sont à ce moment ouvertes, ce qui donne une situation identique à celle du début du cycle (i).

Au total, la surpression parcourt quatre fois la longueur du tube. On en déduit facilement que la fréquence fondamentale de résonance  $F$  vaut, en hertz :

$$F = \frac{\nu}{4 * L}$$

où  $\nu$  est la vitesse du son dans l'air en mètres par seconde à la température considérée, et  $L$  la longueur du tube en mètres.

La détermination du spectre émis fait appel aux conditions aux limites du système. En effet, la pression est nulle à proximité des lèvres et maximale à l'extrémité ouverte du tube. Par conséquent, les modes de résonance possibles correspondent uniquement aux harmoniques impaires :



Cette modélisation simplifiée ne permet d'expliquer que le premier mode de résonance du didjeridoo. La compréhension de ce dernier est fondamentale, car c'est celui le plus utilisé dans le jeu de l'instrument ; il est connu sous le nom de drone. Cependant, les simplifications que nous avons opérées ne permettent pas d'expliquer le caractère du timbre et les possibilités de jeu spécifiques du didjeridoo par rapport aux autres instruments plus « conventionnels ». C'est pourquoi nous allons maintenant effectuer une analyse plus poussée des phénomènes acoustiques se produisant au sein de l'instrument.

## Chapitre 3

# Modélisation plus détaillée

Il existe de nombreuses différences structurelles entre le didjeridoo « typique » et le modèle du tube cylindrique parfait. Chacune d'entre elles influe naturellement sur les propriétés acoustiques de l'instrument. Certaines sont difficiles à quantifier d'un point de vue physique : l'irrégularité de la surface du bois, par exemple. Cependant, une analyse plus détaillée permet de mettre en évidence des phénomènes pouvant être modélisés avec une précision correcte. Nous avons donc choisi de présenter les trois principaux, car ce niveau de détail permet d'obtenir une très bonne corrélation entre les résultats fournis par les modèles et les observations expérimentales.

### 3.1 Conditions aux limites

La modélisation du tube cylindrique parfait suppose que le saut d'impédance à l'extrémité libre du tube est suffisamment importante pour que la surpression se réfléchisse précisément à cet endroit. Cependant, l'expérience montre que la fréquence fondamentale du premier mode du didjeridoo est légèrement plus basse que celle fournie par la formule théorique. On suppose donc que la colonne d'air en vibration se prolonge légèrement en dehors du tube. Ce phénomène affecte tous les instruments utilisant une circulation d'air dans un tube ; il a été décrit dès 1882 par Lord Rayleigh dans son traité *On the pitch of Organ Pipes*. Une formule empirique pour en tenir compte est :

$$L' = L + x * d$$

où  $L'$  est la longueur du tube parfait équivalent (c'est-à-dire possédant les mêmes modes),  $L$  la longueur réelle du tube,  $d$  son diamètre et  $x$  une constante. La valeur de celle-ci est sujet à discussion parmi les spécialistes, mais on peut la considérer comme valant approximativement 0,3.

### 3.2 Déformation du tube

Comme nous l'avons vu précédemment, la grande majorité des didjeridoos ont une forme relativement irrégulière. En particulier, l'extrémité ouverte possède

souvent un diamètre plus élevé que l'extrémité dans laquelle souffle l'instrumentiste. Le tube est donc plus précisément assimilable à une section de cône. On peut montrer que les fréquences  $f_n$  des harmoniques des modes dans ce cas sont les solutions de l'équation :

$$k_n * L' = n * \pi - \arctan(k_n x_1)$$

avec

$$k_n = \frac{2\pi * f_n}{\nu}$$

et

$$x_1 = \frac{d_1 * L}{d_2 - d_1}$$

où  $d_1$  est le diamètre de la petite extrémité et  $d_2$  celui de la grande.

On peut remarquer que lorsque le tube est cylindrique, cette équation est équivalente à :

$$f_n = \left(n - \frac{1}{2}\right) * \frac{\nu}{2 * L'}$$

ce qui est cohérent avec les résultats obtenus précédemment.

De manière plus générale, lorsque la conicité du tube est faible, les solutions sont approximées par :

$$f_n = \left(n - \frac{1}{2}\right) * \frac{\nu}{4 * L'} * \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 * (d_2 - d_1)}{\pi^2 * d_1 * \left(n - \frac{1}{2}\right)^2}}\right)$$

Cette nouvelle expression non-linéaire des fréquences de résonance a deux conséquences sur le spectre produit. Tout d'abord, la fréquence fondamentale du mode le plus grave s'élève par rapport au cas du tube parfait. Il y a également apparition de nouveaux modes en relation non harmonique avec le premier mode. Bien que, comme nous l'avons souligné précédemment, ce soit essentiellement ce dernier qui soit utilisé, l'existence des modes supplémentaires est déterminante pour la production des « effets spéciaux » au cours du jeu.

### 3.3 Non-linéarités

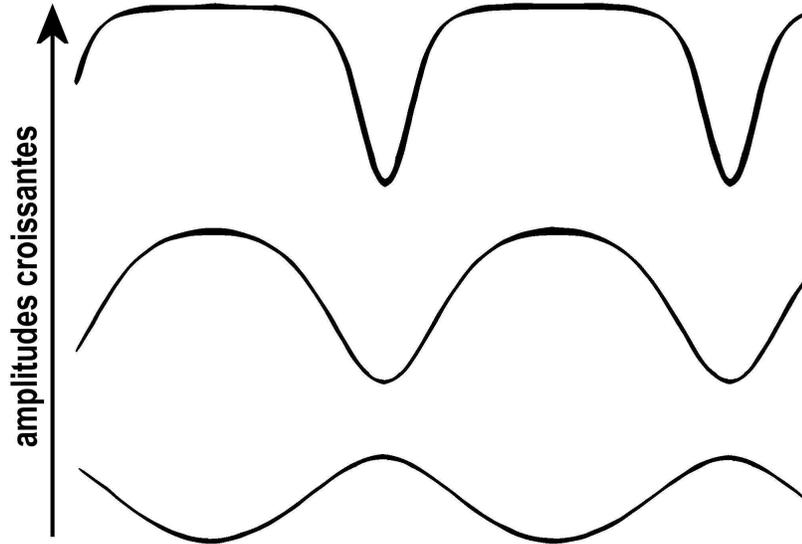
Tous les modèles précédents supposent un mode de propagation des ondes sonores obéissant à des lois linéaires. Or, à l'instar du trombone, le timbre du didjeridoo résulte de la création et la propagation d'ondes de choc dans la partie cylindrique de l'instrument, un processus qui est par nature non linéaire.

Une approximation du débit d'air à l'embouchure est donnée par :

$$U \approx \frac{p_0}{R} - \frac{\frac{p_0^2}{R^3}}{(a_0 + a * \sin(2 * \pi * f * t))^2}$$

où  $U$  représente le débit,  $p_0$  la pression exercée par le souffle en régime constant,  $R$  la résistance acoustique de l'instrument, et  $a$  et  $a_0$  des constantes.

Le graphique suivant présente la forme du débit à l'embouchure suivant l'amplitude de l'onde :



On constate que plus l'amplitude est élevée, plus la forme du débit se rapproche d'une onde rectangulaire, donc riche en harmoniques ; c'est ce qui est à l'origine du timbre « brillant » des instruments tels que la trompette, qui n'est pas explicable par une modélisation classique. Dans le cas du didjeridoo, la présence d'un grand nombre d'harmoniques facilite la modulation du son par l'instrumentiste. Celui-ci peut en effet modifier le volume de sa cavité buccale pour créer des bandes formants (zones du spectre produit où les amplitudes des harmoniques sont plus importantes).

## Chapitre 4

# Le rôle de l'instrumentiste

### 4.1 Le "manque" d'embouchure

Dans le cas des cuivres, l'embouchure permet de réguler le flux d'air dans l'instrument. De plus, cette embouchure agit comme un résonateur et résonne elle-même, cette résonance ajoutant une large bande formant. La cavité de l'embouchure fonctionne à la manière d'un filtre ayant pour but de réduire les influences que les résonances de la bouche pourraient avoir sur les harmoniques élevées du son.

Le cas du didjeridoo est à l'opposé : la cavité buccale détermine directement le son produit, du fait que cet instrument a pour seule embouchure une résine. La bouche se trouve donc littéralement à l'intérieur de l'instrument, et la position de la mâchoire et de la langue ajoute une chambre de résonance, ou une bande formant, similaire à celle d'un chanteur. Lorsque l'instrumentiste de didjeridoo change la forme de sa bouche, le contenu harmonique est modulé en conséquence.

Aussi, bien que l'addition d'une embouchure sur un tube (cas d'un cuivre) ajoute un formant à cause de sa présence même, elle permet de minimiser la présence des autres résonances produites par la cavité buccale, la gorge et le larynx.

Le didjeridoo est donc sujet aux résonances produites par la cavité buccale, la gorge et le larynx du joueur.

### 4.2 La respiration

Un autre élément caractéristique du son du didjeridoo est dû à la technique de la respiration circulaire, laquelle est requise pour jouer de cet instrument sans discontinuité.

L'impédance acoustique itérative  $Z_a$  est donnée par la relation :

$$\frac{\mu * v}{\zeta}$$

où  $\mu$  est la masse volumique du milieu de propagation,  $v$  la vitesse de propagation de l'onde et  $\zeta$  est la section du tube en  $m^2$ . D'après cette relation, on peut en déduire que tout changement dans le diamètre de l'instrument va provoquer la réflexion d'une partie des ondes sonores.

Cette relation inverse permet aussi d'expliquer la différence entre le volume d'air nécessité par un instrumentiste de didjeridoo et celui nécessité par un trompettiste, par exemple. En effet, le rayon de la section du tube d'une trompette est approximativement le tiers de celui du didjeridoo. Ainsi, l'impédance acoustique dans un didjeridoo de 60 mm de diamètre interne est de :

$$Z_d = \frac{400}{\pi * \left(\frac{0.06}{2}\right)^2} = 141542.82kg * s^{-1} * m^{-4}$$

avec

$$\mu * v = 400kg * m^{-2} * s^{-1}$$

et pour une trompette standard (12 mm de diamètre) :

$$Z_t = \frac{400}{\pi * \left(\frac{0,012}{2}\right)^2} = 3538570.42kg * s^{-1} * m^{-4}$$

On constate que  $Z_t > Z_d$ . Une valeur faible d'impédance traduit le fait que le musicien est forcé d'utiliser un volume d'air important. Il faut donc moins d'air pour souffler dans une trompette que dans un didjeridoo.

Du fait que les poumons humains ne peuvent maintenir sans discontinuité une pression équivalente à 2 kPa nécessaire pour émettre un son avec un didjeridoo, l'instrumentiste doit utiliser la technique de la respiration circulaire pour produire et faire varier le son.

Il est à noter qu'à force de repositionner la bouche lors du processus de respiration circulaire, des changements de timbre interviennent. Au lieu de les considérer comme parasites, le joueur de didjeridoo compte sur ces effets et utilise les rythmes produits par cette modulation pour donner du tempo et du mouvement à son morceau. Il est donc impossible pour le joueur de ne pas être entièrement engagé dans la musique, du fait que le rythme de l'instrument est lié au rythme du corps.

### 4.3 La voix

Dans la plupart des morceaux de didjeridoo, le son est utilisé pour accompagner des contes ou des cérémonies et caricature donc les bruits de la nature. En même temps qu'il joue, l'instrumentiste peut chanter et faire des vocalises, ce qui lui permet de produire une gamme étonnante de sons, tant réalistes qu'effrayants.

Selon l'effet qu'il désire produire, l'instrumentiste doit utiliser la voix pour contrôler le son du didjeridoo. Ainsi, pendant qu'il produit le drone, il adjoint à

ce son celui de sa voix, du fait du couplage acoustique existant entre les cordes vocales et les lèvres en vibration.

Supposons que les cordes vocales de l'instrumentiste vibrent à une fréquence  $f_1$ . Le flux d'air entrant dans la bouche contient alors toutes les harmoniques  $nf_1$ . Lorsque ce flux d'air se combine avec celui traversant les lèvres, lesquelles sont en vibration à la fréquence  $f_2$ , la non-linéarité intrinsèque du système buccal provoque la formation de produits d'intermodulation  $n * f_1 \pm m * f_2$ , avec  $(n, m) \in \mathbb{Z}$ . Le spectre sonore produit peut donc être particulièrement riche.

## Chapitre 5

# Conclusion

Bien qu'il présente de nombreuses similitudes avec les cuivres tels que la trompettes, le trombone et le tuba, le didjeridoo se distingue par la complexité de son processus d'embouchure.

En effet, celui-ci est à l'origine non seulement de la mise en vibration de la colonne d'air mais aussi des modulations et du timbre de l'instrument.

De plus, de part son embouchure particulière, le didjeridoo nécessite un engagement constant et complet de l'instrumentiste au cours de son jeu.

Le didjeridoo est donc un instrument d'apparence simple mais aux nombreuses et complexes propriétés acoustiques, et aux riches possibilités musicales.

# Bibliographie

- [1] R. Msallam A.P.J. Wijnands A. Hirschberg, J. Gilbert. Shock waves in trombones.
- [2] Neville Fletcher. The physics of the didjeridoo.
- [3] Benjamin Hammond. The physics of dreamtime : An analysis of the acoustical properties of a didjeridoo.