HAL
open science

SYNTHÈSE SONORE DE SONS DE TIMBALE

A. Ramdane

To cite this version:

A. Ramdane. SYNTHÈSE SONORE DE SONS DE TIMBALE. Journal de Physique Colloques, 1990, 51 (C2), pp.C2-865-C2-868. 10.1051/jphyscol:19902201 . jpa-00230518

HAL Id: jpa-00230518

https://hal.science/jpa-00230518

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COLLOQUE DE PHYSIQUE
Colloque C2, supplément au n°2, Tome 51, Février 1990

1er Congrès Français d'Acoustique 1990

SYNTHÈSE SONORE DE SONS DE TIMBALE

A. RAMDANE

Groupe Acoustique, Département Signal, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, 46 Rue Barrault, F-75634 Paris Cedex 13, France

ABSTRACT

Synthesized timpani-like sounds based on physical models are obtained by solving the equations governing the motion of the membrane with the help of the finite differences method. The membrane is loaded by a kettle enclosure filled with air and is set in vibration by means of a stick. In this paper a model including the computation of the pressure in the vicinity of the membrane is presented. The coupling between the membrane and the stick is described by a rupture model.

RESUME

La synthèse sonore de sons de timbale par modèles physiques est obtenue en résolvant l'équation de vibration de la membrane par la méthode des différences finies. Cette membrane est couplée à une cavité pleine d'air et excitée par une baguette. Dans cet article, nous présentons un modèle physique qui prend en compte le calcul de la pression sonore au voisinage de la membrane. Le couplage entre la membrane et la baguette est décrit par un modèle de rupture.

1 - INTRODUCTION

Les techniques de synthèse sonore musicale par modèles physiques ont jusqu'à présent porté essentiellement sur la vibration des structures, et n'ont généralement pas pris en compte le rayonnement et le calcul de la pression sonore. Dans le cas des timbales, on ne peut pas contourner ce problème ne serait ce que parce que la charge de l'air enfermé dans la cavité située sous la membrane influence de façon essentielle le son produit. Cet effet se traduit notamment par un glissement important des premières fréquences propres dont dépend la hauteur des sons engendrés par percussion (figure.2). Par ailleurs nous avons entrepris une étude qui vise à inclure le couplage entre la baguette excitatrice et la membrane au moment de l'attaque. La technique utilisée pour la discrétisation de la membrane est celle des différences finies bidimensionnelles, analogue à celle qui est utilisée par ailleurs /1/ dans le cas des cordes vibrantes. Le couplage avec l'excitateur est basé sur un modèle de rupture qui s'inspire de celui qui a déjà été proposé par plusieurs auteurs /2/ dans le cadre de l'interaction entre le marteau et la corde du piano. Dans ces deux cas, les algorithmes numériques découlent directement des équations classiques de la physique. Par ailleurs nous avons proposé un schéma de discrétisation original afin d'éviter l'apparition de singularité au centre de la membrane circulaire. La modélisation de la réaction de l'air pose, en revanche, des difficultés notables. En effet, les modèles développés jusqu'à présent proposent des solutions analytiques en régime harmonique, et sont obtenus par exemple à l'aide de techniques du type "fonction de Green" /3/. Or cette présentation se prête difficilement à une résolution dans le domaine temporel qui caractérise notre système de synthèse. Nous avons approché cette réaction par le déplacement moyen de la surface de la membrane.

Nous traitons dans cet article, le problème continu qui se présente sous forme d'équations aux dérivées partielles puis nous présentons la technique numérique qui permet de donner la valeur du déplacement z(x,y,t) de chaque point de la membrane au cours du temps. Nous présentons enfin succinctement l'implémentation des algorithmes qui découlent de la discrétisation du problème continu.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:19902201

2 - PROBLEME CONTINU

Il s'agit d'une membrane couplée à une cavité pleine d'air. Dans ces conditions, la membrane est soumise à d'autres réactions que celle due à sa tension c.à.d:

- La force due à la résistance du fluide, qui se traduit par le terme $-bz_t$, où b est un paramètre de viscosité.
- une force due au rayonnement de la membrane dans l'espace, que l'on traduit de façon simplifiée par $b_3 z_{ttt}$, le coefficient b_3 étant supposé constant.
- la réaction due à la différence entre la pression interne et la pression externe **(pe-pi)**.

Nous appliquons la loi fondamentale de la dynamique et nous obtenons l'équation du mouvement global qui régit le système, sous la forme suivante:

$$z_{tt} = z_{xx} + z_{yy} - bz_t + b_3 z_{ttt} + (p(x,y,0-,t)-p(x,y,0+,t)) \quad (1)$$

le terme p(x,y,0-,t)-p(x,y,0+,t) représente le couplage de la cavité à la membrane. On démontre /4/ qu'il est proportionnel, en première approximation, au déplacement moyen de la surface de la membrane. Toutefois le système est modélisé par l'équation(1) sous certaines hypothèses à savoir:

- La membrane est plane, mince et parfaitement flexible, tendue sur un contour plan rigide.
- L'épaisseur et la tension sont uniformes.
- Les déformations sont petites par rapport au rayon de la membrane.

Notre système est alors modélisé par les équations approchées suivantes:

$$z_{tt} = z_{xx} + z_{yy} - bz_t + b_3 z_{ttt} + \alpha\langle z\rangle \quad (2)$$

$$z(x,y,0) = z_0 \quad (3)$$

$$z_t(x,y,0) = V_0 \quad (4)$$

NOTATIONS

On note:

dt le pas de discrétisation temporelle, dx et dy les pas de discrétisation dans l'espace.

z(i,j,n) le déplacement du point x_i=idx, y_j=jdy et à l'instant t_n=ndt

r_1=Cdt/dx; r_2=Cdt/dy; C étant la célérité transversale.

N=nombre de points de discrétisation.

h=dx=dy.

$\delta^2 z(i,j,n)_t = z(i,j,n+1)-2z(i,j,n)+z(i,j,n-1)$ la dérivée temporelle d'ordre 2 centrée

$\delta^2 z(i,j,n)_x = z(i+1,j,n)-2z(i,j,n)+z(i-1,j,n)$ la dérivée spatiale d'ordre 2 centrée selon x.

$\delta^2 z(i,j,n)_y = z(i,j+1,n)-2z(i,j,n)+z(i,j-1,n)$ la dérivée spatiale d'ordre 2 centrée selon y.

$\delta z(i,j,n)_t = z(i,j,n+1)-z(i,j,n)$ dérivée temporelle d'ordre 1.

$\delta^3 z(i,j,n)_t = z(i,j,n+2)-2z(i,j,n+1)+2z(i,j,n-1)-z(i,j,n-2)$ dérivée temporelle d'ordre 3.

$\varepsilon_1(i,j,n)=\{(N^2)-(j^2)\}^{1/2}/h-i/h$.

$\varepsilon_2(i,j,n)=\{(N^2)-(i^2)\}^{1/2}/h-j/h$.

z_{xx}(resp z_{yy}) signifie dérivée partielle d'ordre 2 par rapport à x (resp y).

z_t(resp z_{ttt}) signifie dérivée partielle d'ordre 1 (resp d'ordre 3) par rapport à t.

$\langle z\rangle$ déplacement moyen de la surface de la membrane à l'instant ndt

3 - DISCRETISATION

Pour résoudre le problème précédent, on a recours à la méthode des différences finies qui se prête bien au cas de structures de formes simples, comme la membrane circulaire. On discrétise l'équation(2) en espace et en temps. Le calcul du déplacement d'un point de la membrane à l'instant n+1 nécessite la connaissance des déplacements des autres points de la membrane aux instants antérieurs. On montre /6/ que le schéma centré explicite

$$\delta^2 z(i,j,n)_t = r_1^2 \delta^2 z(i,j,n)_x + r_2^2 \delta^2 z(i,j,n)_y - b/dt\,\delta z(i,j,n)_t - b_3/dt^3 \delta^3 z(i,j,n)_t + \alpha\langle z\rangle \qquad (5)$$

où α est un paramètre d'élasticité, conduit à une équation de récurrence permettant de calculer z(i,j,n+1) en fonction des valeurs de z aux instants précédents. Nous démontrons /6/ que cette équation est stable et non dispersive à la condition $r_1^2+r_2^2=1$. En fait l'équation de récurrence(5) est valable uniquement pour une membrane rectangulaire. Pour une membrane circulaire, l'utilisation de coordonnées polaires (r,θ) conduirait à l'apparition de singularités au centre de la membrane. Nous avons donc proposé un schéma de discrétisation approché en coordonnées cartésiennes avec termes correctifs sur le pourtour de la membrane. Pour cela, nous avons défini 3 régions (fig.1). Une première région formée par les points sur le contour circulaire ou extérieur à celui-ci, une deuxième région contenant les points "frontières", c.à.d les points de la grille rectangulaire immédiatement voisins du contour et enfin une troisième région formée par l'ensemble restant des points intérieurs au cercle. Pour la première région la solution est imposée par le fait que la membrane est parfaitement rigide, et donc que le déplacement est nul à chaque instant. Pour la troisième région, les déplacements à chaque instant sont donnés par l'équation de récurrence(5). Enfin les points frontières sont approximés par la formule de Taylor suivante:

$$z(i,j,n+1)=2r_1^2\{1/(1+\varepsilon_1(i,j,n)h))\}z(i-1,j,n)-2\{r_1^2/\varepsilon_1(i,j,n)h+r_1^2/\varepsilon_2(i,j,n)h-1\}z(i,j,n)+$$
$$\{2r_1^2/(1+\varepsilon_2(i,j,n)h)\}z(i,j-1,n)-z(i,j,n-1) \qquad (6)$$

4 - IMPLEMENTATION DU PROBLEME

Jusqu'à présent nous n'avons pas abordé la question du couplage de la baguette avec la timbale, parce que celui-ci intervient seulement au cours de l'implémentation du problème sur ordinateur. Ce couplage est basé essentiellement sur le principe de rupture /2/ baguette/membrane. Le comportement de l'excitateur(baguette) est modélisé par $MZ_{tt} = F_o$ où M étant la masse du marteau et F_o est la force exercée par le musicien sur la baguette. Dans le cas où $F_o=0$, on retrouve le mouvement uniforme de vitesse V_o utilisé par Bacon /2/ pour le marteau du piano. Sinon il est modélisé par $Mz_{tt}=F_o+F(t)$ où F(t) étant la force résultante exercée sur une portion de surface de contact entre la baguette et la membrane. Pour modéliser ce couplage membrane/cavité/baguette il faut à chaque instant dt calculer le déplacement de la membrane et celui de la baguettete non libre ($F\neq0$) ainsi que celui de la baguette libre puis faire une comparaison entre le déplacement non libre et celui de la membrane. Si le déplacement de la membrane est plus grand que celui de la baguette alors on décide que la baguette et la membrane ne sont plus en contact et le calcul suivant est effectué en utilisant la baguette libre.

5 - CONCLUSION

Nous avons présenté un modèle physique de synthèse sonore de sons de timbale qui inclue les trois éléments membrane/cavité/baguette. Ce travail sera étendu dans un proche avenir à l'utilisation des résultats analytiques proposés par Christian et al /3/, qui fournissent notamment un développement modal pour le déplacement de la membrane. On approxime alors les premiers modes sous la forme d'un réseau discret de composants élémentaires de types masse, ressort ou amortisseur.

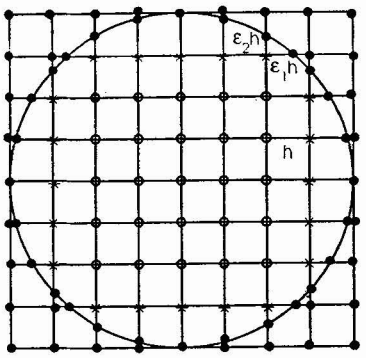

Fig. 1 - Discrétisation spatiale de la membrane
• représente la première région formée par les points sur le contour circulaire ou extérieur à celui-ci,
* représente la deuxième région formée par les points frontières, c.à.d les points de la grille rectangulaire immédiatement voisins du contour,
⊕ représente la troisième région formée par l'ensemble des points intérieurs au cercle.

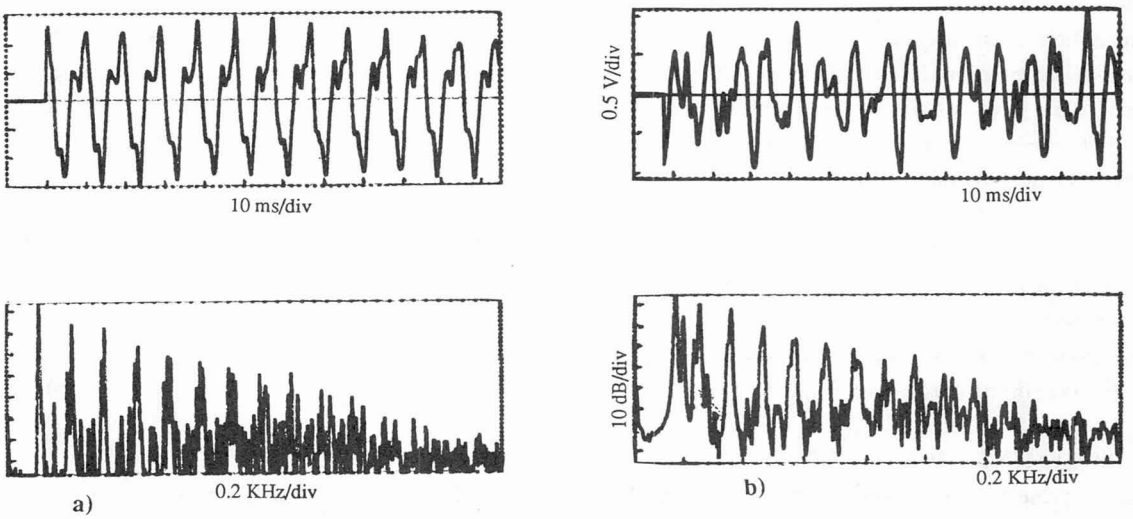

Fig. 2 - Formes d'onde du déplacement et spectres d'amplitudes correspondants pour une membrane de valeurs paramétriques suivantes: rayon = 0.328 m; densité surfacique = 0.262 kg/m^2; tension = 3990 N/m; masse volumique de l'air = 1.21 kg/m^3; nombre de points de discrétisation = 25×25; position d'excitation et d'observation= au centre de la membrane; b(paramètre de viscosité) = 0.9 s^{-1}; b3 = 0.0 s.
a) sans cavité.
b) avec cavité de volume d'air = 0.08 m^3.

REFERENCES

/1/ Guyard, I. and Chaigne, A., 84th A.E.S. Convention, 2622(I-2), Paris, March 1988.
/2/ Bacon, R.A. and Bowsher, J.M., Acustica 41 (1978) 21.
/3/ Christian, R.S. and al, J. Acoust. Soc. Am 76(5) 1984 1336.
/4/ Kinsler Frey, Fundamentals of acoustics, 90-93, John Wiley, New-York, (1962).
/5/ Hiller, L. and Ruiz, P., J. Audio. Eng. Soc. 19 (1971) 462.
/6/ Richtmyer, R.D. and Morton, K.W., Difference methods for initial-value problems, John Wiley, New York, 1967.