

Développement d'un 'Objet-Accordéon' pour Modalys

– Compte-Rendu –

Introduction

Le but de cette étude est la création, dans Modalys, d'un nouvel objet permettant de générer des sons d'accordéon et éventuellement de s'en éloigner en agissant sur les paramètres physiques accessibles. La tâche comprend deux étapes : la compréhension de l'instrument réel par une approche expérimentale et bibliographique, et l'élaboration d'un modèle de synthèse écrit dans le formalisme de Modalys.

A/ L'accordéon

1. Recherche bibliographique

Outre des articles de référence, la recherche bibliographique a permis de mettre à jour quelques publications concernant l'accordéon. Il s'avère, en fin de compte, que peu de choses ont été écrites à propos de cet instrument, notamment d'un point de vue scientifique : le bulletin du Groupe d'Acoustique Musicale (G.A.M.) datant de février 1972 paraît comme le document le plus complet sur ce sujet, couvrant aussi bien le domaine physique qu'historique, organologique ou musicologique.

Par ailleurs, le champ de cet "état de l'art" s'est élargi aux 'cousins' de l'accordéon : l'harmonica, l'harmonium, etc. En effet, ces instruments ont fait l'objet de travaux de recherche plus nombreux et, pour certains, plus récents et les articles qui en résultent pourront aider à la compréhension de l'instrument qui nous intéresse. A ce titre, d'ailleurs, nous avons complété notre démarche par une entrevue avec C. Cuesta, C. Valette et L. Millot du Laboratoire d'Acoustique Musicale de l'Université Paris VI qui nous ont fourni de précieuses informations concernant le fonctionnement et la facture de l'accordéon et de l'harmonica.

Le détail des documents est présenté en fin de rapport, dans le paragraphe intitulé "Bibliographie".

2. Généralités sur le principe de fonctionnement de l'accordéon

Sans prétendre être aussi exhaustif que E. Leipp lorsqu'il traite des "Eléments d'anatomie, de physiologie et d'acoustique de l'accordéon" dans le bulletin du G.A.M. (p. 12), voici présenté en quelques idées – et quelques illustrations – le principe de fonctionnement de l'accordéon :

- l'élément excitateur de l'instrument est une anche simple, le plus souvent métallique, et libre c'est-à-dire qu'aucun obstacle ne vient contraindre sa vibration (voir fig. 1a), contrairement à la clarinette, par exemple, qui bat sur le plateau du bec. En outre, l'anche d'accordéon est dite 'forte' car c'est elle qui détermine la fréquence de jeu émise ; dans le cas de la clarinette, l'anche est dite 'faible' car sa fréquence de résonance est nettement supérieure à la fréquence de jeu et c'est le tube de l'instrument (résonateur) qui pilote la fréquence du son émis.

De ce fait, chaque note de l'accordéon correspond en théorie à une anche ; en réalité, il y a en plusieurs à cause des deux modes d'action du soufflet (poussé et tiré) et des différents registres de jeu.



fig. 1a : l'anche libre

- le résonateur est constitué d'une cavité alvéolaire, généralement en bois, et propre à chaque anche ; toutes les cavités d'un même registre sont regroupées ensemble pour former un sommier que l'on nomme "musique" (voir fig. 1b).

Les musiques sont disposées à l'intérieur du soufflet et sont connectées, à leur base, au mécanisme d'actionnement des touches de sorte que l'enfoncement d'une touche provoque l'ouverture d'une fenêtre dans la cavité correspondante permettant ainsi l'écoulement du flux d'air et donc la mise en vibration de l'anche concernée.



fig. 1b : la "musique" de l'accordéon

- la connexion exciteur/résonateur s'effectue en fixant l'anche sur une plaquette de métal, d'épaisseur non négligeable, appelée "platine" qui est à son tour fixée sur une des faces de la cavité. La platine présente une découpe dont la géométrie s'ajuste le plus précisément possible à celle de l'anche afin de minimiser au maximum les fuites d'air lorsque l'anche se situe dans son épaisseur ; en revanche, lorsque l'anche est au-dessus de la platine, l'ouverture ainsi créée – par laquelle s'écoule le flux d'air – est appelée la "lumière".

En outre, chaque platine possède deux anches identiques montées en inverse afin de permettre les deux modes d'action du soufflet : poussé ou tiré. Pour cela, les deux anches sont en plus équipées de languette de cuir qui sont fixées sur la platine et qui font office de soupape : suivant le mode de jeu – i.e. suivant le sens du courant d'air –, la languette se plaque rendant muette l'anche correspondante, ou au contraire se décolle permettant ainsi la vibration (voir fig. 1c).

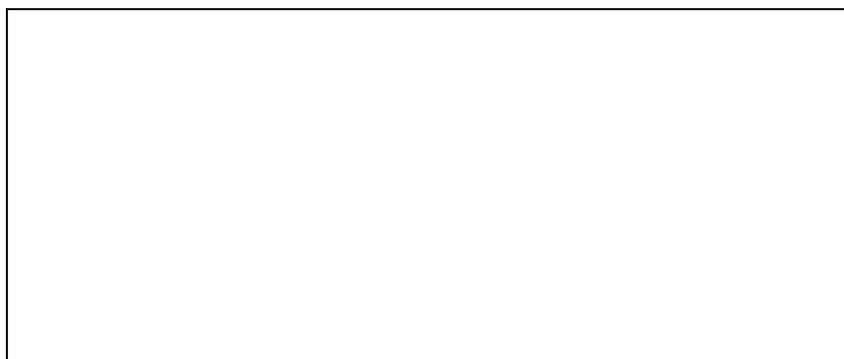


fig. 1c : la "platine" et l'anche

3. Approche expérimentale

Dans un premier temps, le prêt d'un accordéon 'démontable' nous a permis d'appréhender concrètement les divers éléments constituant l'instrument.

Au-delà de cette prise de contact, la mesure *in situ* étant impossible sans détériorer gravement l'instrument (perçage du soufflet, etc. ...), nous avons élaboré avec l'aide de l'Atelier de Mécanique un montage expérimental simple constitué d'une cavité alimentée en air comprimé, surmontée d'une platine refabriquée aux dimensions et sur laquelle est rivetée une anche que l'on a isolée de sa platine d'origine. Ce système nous a permis d'effectuer des mesures de pression en amont et en aval de l'anche ainsi que des mesures de déplacement grâce à un dispositif mis au point lors d'une précédente étude (l'anche métallique est utilisée comme seconde armature d'un capteur capacitif dont on a enlevé la capsule).

En outre, l'emploi d'un matériau transparent, notamment pour réaliser la platine, a rendu possible la visualisation des mouvements de l'anche.

Les données recueillies lors de ces expériences sont importantes : elles confirment les notions relatives au fonctionnement de l'instrument acquises lors de notre travail de documentation, elles constituent des éléments de comparaison quant à la forme de l'onde de pression acoustique dans le champ proche de l'anche et enfin, sous la forme d'un enregistrement vidéo, elles fournissent un outil d'observation du mouvement d'une anche libre.

Ainsi, malgré quelques défauts de non-linéarité dans certains dispositifs de mesure, nous avons pu, par exemple, constater la caractéristique quasi-sinusoidale du déplacement de l'anche, ou bien observer le fait que l'anche effectue une grande partie de son mouvement à l'intérieur de la platine (voir fig. 2a).

B/ L'objet-accordéon pour Modalys

1. Travail sur les sources : la connexion 'reed-free

Etant donné la courte durée du projet, notre démarche pour créer l'objet-accordéon dans Modalys a été constamment guidée par un souci d'efficacité ; en outre, le fait de collaborer étroitement avec Luis Naon (compositeur) et Tom Mays (assistant musical), en vue d'une éventuelle application en production musicale, nous a motivé à obtenir un résultat audible et exploitable par l'utilisateur de Modalys.

Dans cette optique, le travail de développement s'est concentré en priorité sur le couplage résonateur/excitateur. C'est en effet dans cette partie du modèle que sont implantées toutes les caractéristiques intrinsèques à chaque type d'interaction ; pour les instruments à vent, par exemple, on y trouve les principales formes de non-linéarités intervenant dans les mécanismes d'oscillations auto-entretenues :

- l'existence de deux états de fonctionnement successifs (fermé/ouvert), suivant la position de l'anche ;
- la contribution non linéaire de la pression acoustique dans l'embouchure et du déplacement de l'anche à l'établissement du débit acoustique à l'entrée du résonateur. A titre d'exemple, cette relation entre débit (U), pression (P) et déplacement de l'anche (x) a été établie expérimentalement par J. Backus pour la clarinette [3] :

$$U = B \cdot P^{2\beta} \cdot x^{4\beta}, \quad \text{où } B \text{ est une constante (C}^{\text{te}} \text{ de Backus).}$$

C'est d'ailleurs à partir des sources définissant la connexion 'reed de type anche de clarinette (*ReedInteraction.cc* & *ReedConnection.cc*) que la nouvelle connexion 'reed-free est implantée en y adaptant le principe de fonctionnement de l'anche libre (*ReedInteractionFree.cc* & *ReedConnectionFree.cc*). En fait, les modifications majeures portent sur la description physique des deux états de fonctionnement et notamment celle de la position 'fermée'.

Pour la clarinette, au cours d'une période de vibration de l'anche, cet état, très court, se caractérise par une vitesse nulle de l'anche et une force de réaction du bec avec lequel elle est en contact.

Par contre, sur une période de vibration de l'anche d'accordéon, cet état – correspondant au moment où l'anche se trouve dans l'épaisseur de la platine – couvre un temps beaucoup plus long. En outre, du fait qu'il s'agit d'une anche libre, sa vitesse n'est jamais nulle (sauf quand elle s'inverse) et dans l'état 'fermé', étant données les tolérances très serrées de l'assemblage anche/platine, on considère en première approximation que le débit en aval de l'anche, i.e. à l'entrée du résonateur, est nul ou tout du moins constant (si l'on décide de prendre en compte les fuites latérales).

Des mesures effectuées sur le dispositif expérimental – et synchronisées – (voir fig. 2a) confirment assez bien cette hypothèse : on observe en effet un palier quasi-constant de la pression acoustique externe à chaque fois que le déplacement de l'anche se fait vers l'intérieur.

L'examen des données générées par la connexion 'reed-free (voir fig. 2b) fait apparaître de bonnes similarités avec les mesures expérimentales – malgré quelques artefacts de simulation – tant au niveau du mouvement de l'anche que de la forme d'onde produite par le système excitateur. Ces résultats nous encouragent donc à intégrer telle quelle la nouvelle connexion dans la bibliothèque Modalys et à l'associer aux objets déjà existant pour écrire l'objet-accordéon dans le formalisme Modalys.

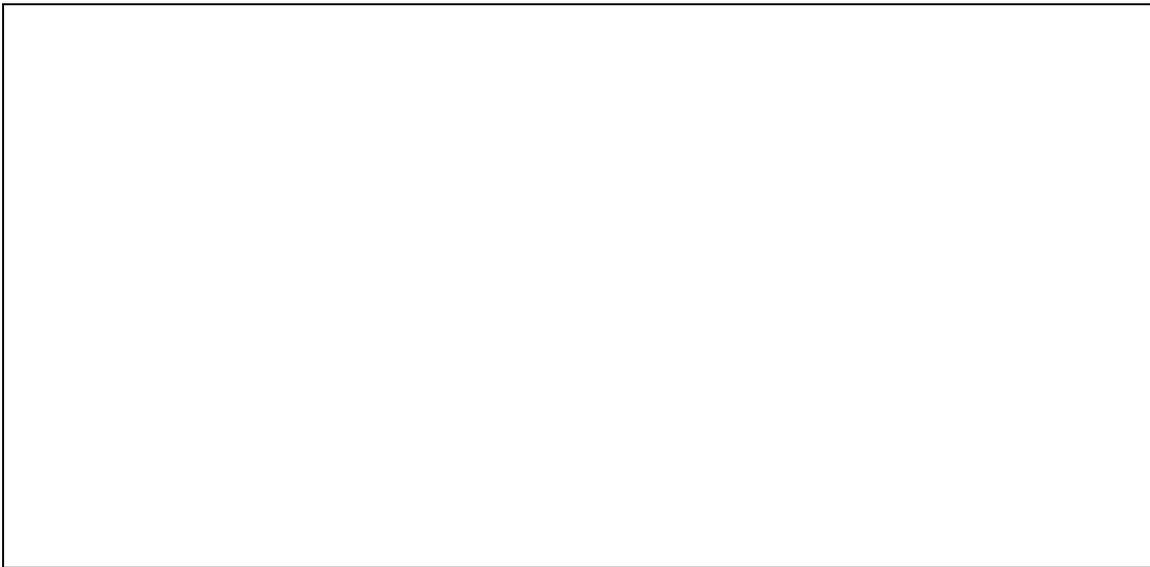


fig. 2a : données mesurées sur le dispositif expérimental
(haut : pression interne - milieu : déplacement de l'anche - bas : pression externe)



fig. 2b : résultats issus du modèle de synthèse
(*trait pointillé* : déplacement de l'anche - *trait plein* : débit externe)

2. Construction et exploration du modèle

Pour les raisons évoquées précédemment, l'objet-accordéon tout entier est construit sur le même schéma que l'objet Modalys dont il est issu, la clarinette : l'anche est un système masse-ressort ('bi-two-mass) dont le rapport grande-masse/petite-masse est élevé pour pouvoir considérer que seule la petite masse est en mouvement ; le résonateur est un tube acoustique ('closed-open-tube) qui reçoit l'anche à son extrémité fermée.

Sur cette base, plusieurs modifications sont apportées :

- étant donné les caractéristiques de l'anche libre (voir plus haut), les paramètres relatifs à la petite-masse de l'objet 'bi-two-mass doivent être ajustés à la fréquence de jeu voulue ; cette ajustement se fait selon la relation :

$$2\pi \cdot f = \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ où } \begin{array}{l} f \text{ est la fréquence de jeu,} \\ m \text{ est la masse du système,} \\ k \text{ est la constante de raideur du ressort.} \end{array}$$

- d'après la configuration du résonateur réel de l'accordéon (voir plus haut), il semble plus judicieux d'utiliser un tube acoustique fermé aux deux extrémités ('closed-closed-tube). En outre, ce résonateur est accordé de manière à faire coïncider la fréquence de jeu avec l'une de ses résonances, l'accord s'obtient en jouant sur la longueur du tube – avec la fonction (with-pitch-adjustment 'length) – sachant que les résonances d'un tube fermé-fermé sont de la forme :

$$f_n = n \cdot \frac{c}{2L}, \text{ où } \begin{array}{l} f_n \text{ est la fréquence de la } n^{\text{ième}} \text{ résonance,} \\ c \text{ est la célérité du son dans l'air,} \\ L \text{ est la longueur du tube.} \end{array}$$

Par ailleurs, pour simuler le principe d'ouverture/fermeture de l'orifice situé sur la paroi de la cavité résonante (voir plus haut) et qui est en contact avec le mécanisme des touches, le résonateur est associé à un 'trou acoustique' via la connexion 'hole. Le microphone d'écoute est alors placé à la sortie du trou – et non plus dans le tube – et, bien qu'aucun modèle de rayonnement ne soit présentement pris en compte, le rendu sonore s'avère de meilleure qualité. Cette configuration permet également de jouer sur la dynamique de fermeture (ou d'ouverture) du trou, ce qui peut s'interpréter comme un contrôle de la vitesse d'actionnement de la touche ; c'est une notion qui fait d'ailleurs partie des techniques de jeu réel dont l'instrumentiste dispose pour obtenir des effets de légères déviations de hauteur (*pitch bend*, en anglais).

- conformément au paragraphe précédent, l'interaction entre ces deux éléments s'opère cette fois par la connexion 'reed-free : sa syntaxe est la même que celle de la connexion 'reed, seuls les arguments (enveloppe de pression, position initiale et surface active de l'anche) doivent être adaptés à la morphologie et aux conditions de jeu de l'accordéon.

Le travail d'exploration de cette nouvelle connexion révèle que le contrôle de la pression d'alimentation est un élément très sensible, en premier lieu, pour l'émission d'une note mais aussi, par la suite, pour le timbre du son et le type d'attaque produits. En d'autres termes, ce paramètre de pression doit évoluer dans une plage de valeurs assez précise et selon un profil non-quelconque, sous peine d'aboutir à un modèle d'accordéon muet.

Conclusion

Cette étude nous a donné l'opportunité de travailler sur un instrument de musique relativement méconnu, l'accordéon, et de nous intéresser plus généralement à une classe de la famille des instruments à vents : les instruments excités par une anche libre.

La confrontation avec l'instrument réel a permis, dans un premier temps, de se rendre compte de sa richesse musicale tant au niveau des possibilités de jeu qu'au niveau de la diversité des timbres disponibles ou de l'étendue de sa tessiture. Cette approche a également fait l'objet de mesures physiques sur un dispositif expérimental simplifié reproduisant le principe de base de la production du son dans l'accordéon, mesures qui constituent les premiers éléments de validation du modèle de synthèse.

A ce sujet, précisément, le développement de l'objet-accordéon pour Modalys s'est effectué à deux niveaux : dans le noyau Modalys, une nouvelle connexion a été implantée pour décrire spécifiquement les propriétés physiques de l'anche libre ; dans la bibliothèque Modalys, cette connexion, associée à d'autres objets Modalys existant, a permis d'aboutir à une synthèse sonore d'accordéon intéressante et supportant la comparaison avec le son de l'instrument réel. Par ailleurs, pour plus d'efficacité, ces développements se sont fortement inspirés d'un instrument déjà modélisé dans Modalys : la clarinette.

L'objectif que nous nous étions fixé pour cette étude semble donc atteint : développer un nouvel objet dans Modalys pour travailler autour des sonorités offertes par l'accordéon. Ceci étant, il va sans dire que le modèle obtenu au final est loin d'être idéal et pourrait être largement amélioré mais il constitue néanmoins un point de départ acceptable pour les travaux d'exploration de l'objet.

N.b. : des exemples sonores illustrant les résultats obtenus ainsi que des échantillons de référence issus d'enregistrement sont accessibles par le 'Dossier partagé' du Macintosh "INS-Causse", dans le répertoire 'Modalys-NewDevpt'.

Bibliographie

Articles de références

- [1] : "Excitation mechanism in woodwind and brass instruments" - N. H. Fletcher - *Acustica* (1979), vol. 43, pp. 63-72.
[2] : "Problems in flow acoustics" - W. Möhring, E. A. Müller, F. Obermeier - *Rev. Mod. Phys.* (July 1983), vol. 55, n° 3, pp. 707-724.
[3] : "Small vibration theory of the clarinet" - J. Backus - *J. Acoust. Soc. Am.* **33**, 806-810 (1961)
[4] : "Vibrations of the reed and the air column in the clarinet" - J. Backus - *J. Acoust. Soc. Am.* **35**, 305-313 (1963)

A propos de l'accordéon

- [5] : "L'accordéon" - P. Monichon, E. Leipp, A. Abott, E. Lorin - *Bulletin du Groupe d'Acoustique Musicale*, n° 59, février 1972.
[6] : "Instruments à vents" - H. Bouasse, tome 1 - Librairie Delagrave, Paris 1929.
[7] : "Accordion" - *The new GROVE dictionary of musical instruments*, vol. 1, pp. 6-8, edited by S. Sadie, Macmillan Press Limited, 1984.
[8] : "The musician's guide to acoustics" - M. Campbell, C. Greated - *Schimmers Books*, 1987, p. 464.
[9] : "Plaidoyer pour la réhabilitation du piano à bretelles" - *Le Monde*, mardi 12 novembre 1996.

A propos des 'cousins' de l'accordéon

- [10] : "Pitch control in harmonica playing" - R. B. Johnston - *Acoustics Australia*, vol. 15, n° 3, pp. 69-75.
[11] : "Playing chromatically on a diatonic harmonica : an investigation of the mechanisms" - C. Cuesta, C. Valette - *Actes ISMA 1995*, pp. 108-113.
[12] : "Rôle de la cavité bucale dans le fonctionnement de l'harmonica diatonique" - L. Millot, C. Cuesta, C. Valette - *Actes du 4ème Congrès Français d'Acoustique*, vol. 1, pp. 637-640.
[13] : "Aerodynamic excitation of the harmonium reed" - A. O. St Hilaire, T. A. Wilson, G. S. Beaver - *J. Fluid Mech.* (1971), vol. 49, part 4, pp. 803-816.