



PROJET MIMOSA

Modélisation d' Instruments de Musique & Optimisation du Savoir-faire Ancien

Objet du projet : Réalisation de répliques conformes d'instruments anciens à l'usage des conservatoires, musées et musiciens amateurs

Comment proposer des copies d'instruments anciens ?

Le son, c'est l'émotion : Qui n'en verrait pas les enjeux quant à notre nature humaine ?

Informations contenues dans le présent document :

Éléments techniques de base

Contingences techniques et historiques

Exemples de réalisations

Éléments d'accroche pour le public visé

Mode opératoire

Éléments d'économie

Bibliographie

Diagramme de Gantt



Pourquoi ce projet à dimensions artistiques et humaines ?

Un grand nombre d'**instruments de musique** a été produit au cours de l'histoire de la musique. Dans le passé, certains ont été fabriqués en **peu d'exemplaires** et sont conservés actuellement dans des musées. Le recensement croissant des **demandes de restauration d'instruments anciens** constitue un indicateur significatif quant à l'**activité économique potentielle** résultant d'une facture de répliques de qualité. Les originaux sont **difficilement accessibles aux musiciens**.

Réaliser des répliques fidèles de ces instruments, pour lesquels une musique parfois spécifique a été composée est aujourd'hui délicat, et nécessite des compétences qui restent actuellement celles de luthiers spécialisés.

En outre, la mise en œuvre de matériaux traditionnels, couplée à l'emploi nouveau de matériaux innovants conformes à la directive REACH (Registration Evaluation, Autorisation for CHemicals, 2006), présente un avantage indéniable quant à la réalisation semi-artisanale d'instruments de qualité dotés d'une **valeur esthétique** conforme à celle des modèles d'origine. Ces éléments soulignent l'importance des tâches décrites ci-après quant à l'étude de faisabilité technologique de répliques de qualité.

Le projet proposé vise à **développer des outils d'ingénierie**, permettant de **réaliser des copies d'instruments** de référence et d'en **évaluer la qualité** de façon objective. La diffusion commerciale de ces copies pourrait résulter d'une **fabrication réalisée par des luthiers professionnels** bénéficiant de l'objet de l'étude, Pour ces derniers, le projet peut constituer une source d'emplois.

La finalité de ces outils est de rendre opérationnelle et simple la mise en œuvre des étapes suivantes :

- 1/ mesure de la géométrie interne d'instruments de musique à copier.
- 2/ mesure objective de caractéristiques acoustiques (impédance acoustique) de ces instruments pour l'ensemble des doigtés connus du musicien.
- 3/ réalisation de conduits acoustiques de géométrie maîtrisée.
- 4/ mesure objective de caractéristiques acoustiques (impédance acoustique) des copies.

Le public auquel s'adresse ces outils est avant tout composé de musiciens spécialistes de musique ancienne, de luthiers, et enfin de luthiers amateurs, dont le nombre tend aujourd'hui à augmenter.

Vocabulaire technique du métier :

- **Perce** : l'usinage interne de l'instrument.
- **L'anche** est l'élément qui contribue à la naissance du son. Elle peut être aérienne (famille des flutes) ou solide (famille des bois).
- **La facture** est le fait de fabriquer des instruments de musique. Ceux ci sont généralement fabriquer en bois mais l'apparition de nouveaux matériaux permettrait une durée dans le temps et un déformation plus favorable aux musiciens. Il est néanmoins possible de les habiller en bois pour garder une esthétique importante pour l'utilisateur.
- **L'impédance** est une définition mathématique servant à la caractérisation de certains aspects des instruments.

Quelques notions historiques et culturelles

L'instrument de musique est né avec l'humanité. Ce qui produit des sons fait partie intégrante de son évolution. Galilée, Pythagore, Euler, tous se sont penchés sur le sujet, faisant de la musique quasiment une théorie mathématique même à l'heure actuelle. Par ailleurs, ce n'est que récemment, à l'aide des découvertes de Fourier et d'Alembert qu'est née petit à petit une théorie physique des instruments de musique. Malgré cela, la physique de ces systèmes a jusqu'à présent tenté d'expliquer les phénomènes présents dans les instruments de musique. Pourquoi ne pas **exploiter ces connaissances théoriques et pratiques** pour **reconstruire des instruments anciens** et faire **revivre ainsi un patrimoine culturel** ?

Les instruments dont mon étude fait l'objet sont présents dans la musique baroque, médiévale ou traditionnelle. La musique traditionnelle est la plus concernée par les instruments anciens, du fait qu'elle est la plus répandue, notamment en Bretagne et en Auvergne soit pour la Bretagne à elle seule plus de 150 orchestres, 10 000 musiciens, 5 000 danseurs, tous amateurs (<http://www.telerama.fr/scenes/>) Dans l'Yonne, un projet de **construction du château fort** de Guédelon avec les seules technologies connues au moyen age (<http://www.guedelon.fr/fr>) va s'appuyer sur des **animations autour de la musique médiévale** ; ce projet constitue un indicateur vis-à-vis de la **reconnaissance des patrimoines régionaux** dont le savoir faire en matière de lutherie est un élément déterminant.

Les outils existants

Plusieurs **outils** ont été mis en place par les **Centres de Recherche Nationaux Scientifiques**. On peut consulter, notamment sur internet, de nombreux articles consacrés à la **caractérisation dimensionnelle** de la perce d'instruments à vent anciens **par rayon X**. Des **systèmes de mesures des fréquences passives** permettent en outre, une modélisation logicielle des instruments à vent, modernes ou anciens.

Le **logiciel** portant le nom de "**Tutt**", dont je participe au développement, a pour but de **modéliser** ces instruments pour les **améliorer**, en calculant l'effet de modification de perce en certains points stratégiques sur la justesse de la hauteur du son et le timbre de l'instrument. Il n'existe pas par contre d'algorithme d'optimisation, et celle ci se fait encore de manière empirique. De fait, la **création de cet algorithme** fait partie de mes recherches actuelles.

Répliques fidèles d'instruments de musique à vent anciens

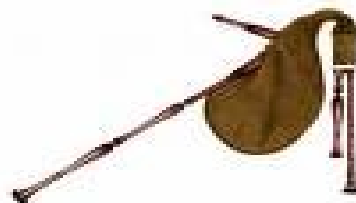
Quelques instruments anciens joués aujourd'hui envisagés dans le cadre du projet :



1) Hautbois Baroque



2) Bombarde



3) Cornemuse du Poitou



4) Cromornes



5) Traverso Baroque

- 1) **Hautbois baroque** : L'apparition du hautbois baroque en France remonte aux croisades. On le rencontre aujourd'hui dans la musique baroque et dans la musique traditionnelle et folklorique.
- 2) **Bombarde** : Issue du hautbois baroque, c'est le roi Louis XIV qui après l'héritage d'une douzaine de hautbois demande aux luthier de fabriquer des instruments pouvant accompagner son souper. C'est ainsi que naît la bombarde. Elle a un son criard et un niveau sonore particulièrement puissant. Elle est utilisée principalement en musique traditionnelle bretonne.
- 3).**Cornemuse du Poitou** : Parmi une variété de plus de 25 cornemuses dans le monde, Celle la plus présente en France au début du siècle était la cornemuse du Poitou constituée d'une poche en cuir, d'un chanteur et d'un bourdon qui sonne en permanence alors que le joueur viens jouer sur le chanteur.
- 4) **Cromornes** : Le **cromorne** est un Instrument de musique à vent à anche double. Son nom vient de l'allemand *krumm*, courbé, et *Horn*, cor ou corne.
- 5) **Traverso Baroque** : Flute baroque de type traversière apparu en France au Moyen Âge. Originnaire de chine, elle est aimée pour le son doux et archaïque qui ramène au passé qu'elle produit.

Éléments d'accroche pour le public visé

Indicateurs sociaux économiques et institutions potentiellement concernées

Il convient de constater le succès croissant des manifestations de musique locales, organisées chaque année en France, dans chaque région, où les pouvoirs locaux ont intégré l'intérêt de mettre en valeur le **patrimoine historique et culturel**. La musique traditionnelle entre directement dans ce cadre, intimement associé à la recherche de **valeurs traditionnelles** empruntées d'**authenticité**.

La recherche d'une qualité de vie est aujourd'hui une priorité pour tous. Au delà de la consommation matérielle, celle-ci passe aussi par la recherche de vraies sensations. A ce titre, écouter le timbre d'un instrument, en sentir vibrer la matière avec ou sans accompagnement, toucher les fibres du bois, sentir les collages et la patine des vernis traditionnels, observer le soin d'une facture de qualité, constituent des temps forts dans **l'expérience des sens** participant de la recherche d'authenticité.

En ce sens, pourraient se porter acquéreurs, les **conservatoires municipaux** et certains **musées** publics ou privés sur une échelle internationale.

Indicateurs psychologiques pour le particulier

Pouvoir acquérir un instrument ancien peut procurer des sentiments de fierté résultant d'un héritage culturel. La musique nous conduit sur le chemin d'un voyage intérieur. C'est un précieux moyen de se ressourcer face aux agressions auxquelles nous devons faire face dans le monde actuel. Le prix d'une reproduction d'instrument ancien devient secondaire devant l'apport que procure une telle acquisition. Il faut cependant proposer une facture de qualité qui saura cultiver le talent et l'inspiration de son acquéreur.

De nombreux particuliers passionnés d'art et de culture du patrimoine manifestent leur désir d'acquérir des copies d'anciens instruments de bonne facture.

Musique et communication

Pouvoir regrouper les locaux, fervents de leurs traditions, autant que les curieux venus visiter une région, à la recherche du plaisir de découvrir ses sites et coutumes pittoresques, voilà ce peut apporter toute harmonie musicale.

Combien de telles manifestations sont régulièrement ajournées par manque d'accompagnateur dont l'instrument ne peut plus assurer son fonctionnement ? Chaque festival connaît son lot de dysfonctionnements, portant quelquefois atteint à **l'économie locale**. Malgré de tels avatars, le spectacle vivant des instruments et des êtres qui les animent arrive encore à séparer l'individu du petit écran dont les qualités restent souvent fort controversables.

Faire se rencontrer les êtres de manière réelle, semble être le juste complément aux outils virtuels de réelle qualité.

Observation d'ordre économique

Le marché de l'instrument ancien peut être décomposé en plusieurs parties :

- La **lutherie** : des luthiers doivent répondre à une demande de la part des orchestre baroques, médiévaux et un grand nombre de joueurs de musique traditionnelle bretonne. Il faut savoir que la Bretagne compte en sa population près d'un tiers de musiciens dont 75 % sont amateurs.
- Les **centres de recherche scientifiques** : ils travaillent en général avec des luthiers sur le développement d'outils d'aide à la facture instrumentale. Ils s'appuient sur l'acoustique des instruments de musique pour faire de la recherche fondamentale en physique.
- Les **musées et les centres de recherche en sciences humaines** : Ils essayent de reconstituer des instruments anciens, ou parfois il ne reste que des écrits pour témoigner de leur facture.
- La **lutherie amateur** : ne pouvant pas accéder aux outils développés, il est nécessaire, à mon sens de développer une technique d'ingénierie adaptée. On peut observer un nombre croissant de forums où l'information véhiculée est parfois incorrecte, voire absurde.

Prix moyen de réalisation d'un instrument

Le prix estimé pour la réalisation d'instruments anciens peut être décomposé selon plusieurs facteurs :

- L'**achat des plans** auprès de centres de recherches et de musées : **450 €** par instrument en moyenne (<http://mediatheque.cite-musique.fr/>).
- L'essai par prototypes :
 - il faut compter environ **200 €** pour l'**usinage du moule**,
 - un budget **50 €** pour la **fibre de verre** est à prévoir.
- La matière première pour la réalisation d'instruments :
 - le **bois** : (ébène du Mozambique, palissandre, buis, cormier) environ **80 € par instrument**, selon la qualité.
 - Le **métal** : **50 €** pour un instrument à quatre clefs et la décoration par procédés d'incrustations.
- La réalisation de l'instrument sera **sous traitée** par un **luthier professionnel**, mon projet d'**association** ayant compétence exclusive de **bureau d'étude** technologique et d'expertise. Un atelier standard doit disposer de : Tour à bois, tour à métaux, fraiseuse, four moyenne température et étuvage, outils de mise en presse, outils de gravure du bois, outils et produits pour le collage du bois et son façonnage (maintien, torsions), outils métrologiques pour le contrôle dimensionnel. En outre, pour la caractérisation des prototypes, il convient de disposer notamment de : sonomètre, microphones, amplificateur, enregistreur et analyseur de spectre,...

Structure du projet : (cf, calendrier prévisionnel de réalisation pour plus d'informations) :

1) Aspects techniques

Finalisation d'un algorithme d'optimisation pour le programme "Tutt". Cet algorithme sera basé sur deux approches complémentaires :

- Les **réseaux de neurones** : Ils permettent un **système d'intelligence artificielle** qui donne la possibilité à un programme d'**apprendre par lui-même**, donc de tirer des conséquences de ses calculs précédents, voire même de ses erreurs. Ces études seront couplées à la théorie des plans d'expériences.
- Les **plans d'expériences** : Cette théorie permet de **tirer des informations** de **systèmes a priori inconnus**, à partir d'un minimum d'expériences seulement. Cette approche aura donc pour but de faire **converger** l'algorithme de réseaux de neurones beaucoup plus rapidement.

Dans la continuité de ce projet, je continuerai la réalisation de prototypes d'instruments, avec notamment l'élaboration des plans d'un hautbois baroque du XVIII^e siècle et d'un traverso Baroque apparu en 1897.

2) Aspects commerciaux

J'ai pour projet d'**élaborer** des **versions améliorées** à partir de **plans anciens** (XIX^e) adaptés aux paramètres de l'usinage et des matériaux. Suite à cette étape, j'essayerai de m'**associer** avec des **luthiers professionnels** pour la réalisation de ces instruments. Il importe de souligner l'intérêt des plans pré-existants pour servir d'éléments de recadrage de la modélisation en termes de conditions limites à optimiser.

Au delà de l'étude, je rechercherai une **proposition** auprès de membres qualifiés de la profession, afin de mettre en place une collaboration effective avec les **fabricants retenus** en tant que revendeurs pour les **réalisations des objets du présent projet**. Il conviendra alors de **déterminer les points de vente** les plus **concernés** dans le domaine spécifique de la musique.

Au cours du déroulement de l'ensemble du projet, j'essayerai de diriger une **action de communication** pour faire connaître mes produits et mes services : **sites internet, publication de vulgarisation**.

La réalisation d'un prototype de Hautbois :



Cirage d'un mandrin en aluminium



Application de la résine sur la fibre

Mode opératoire actuel d'élaboration de prototypes (détails dans le planning de fabrication) :

Un mandrin en aluminium est usiné avec une précision de quelques centièmes de millimètres.

La fibre de verre est ensuite mise en place autour du mandrin, puis les différentes couches appliquées sont ensuite solidarisées avec de la résine polyester.

Après plusieurs couches on obtient un instrument solide.

Le reste est plus complexe à mettre en œuvre car le perçage des trous nécessite un moyen de perçage précis.

Une série de tests est ensuite mise en place pour contrôler la qualité de l'instrument :

- Une **mesure de la justesse** de la hauteur des différentes notes,
- L'acquisition des fréquences passives de l'instrument,
- L'**essai** aux cotés de **musiciens professionnels**.

Finalement suivant les résultats de ces analyses, un tableau récapitulatif est rempli pour garder ces informations en mémoire.

Si nécessaire, la réalisation d'une seconde itération puis un second prototype peut s'avérer essentielle.

Répliques fidèles d'instruments de musique à vent anciens

Objectifs techniques attendus en termes de réalisation :

Voici quelques photos :



Tracé d'un perçage de hautbois baroque



Pavillon de hautbois baroque

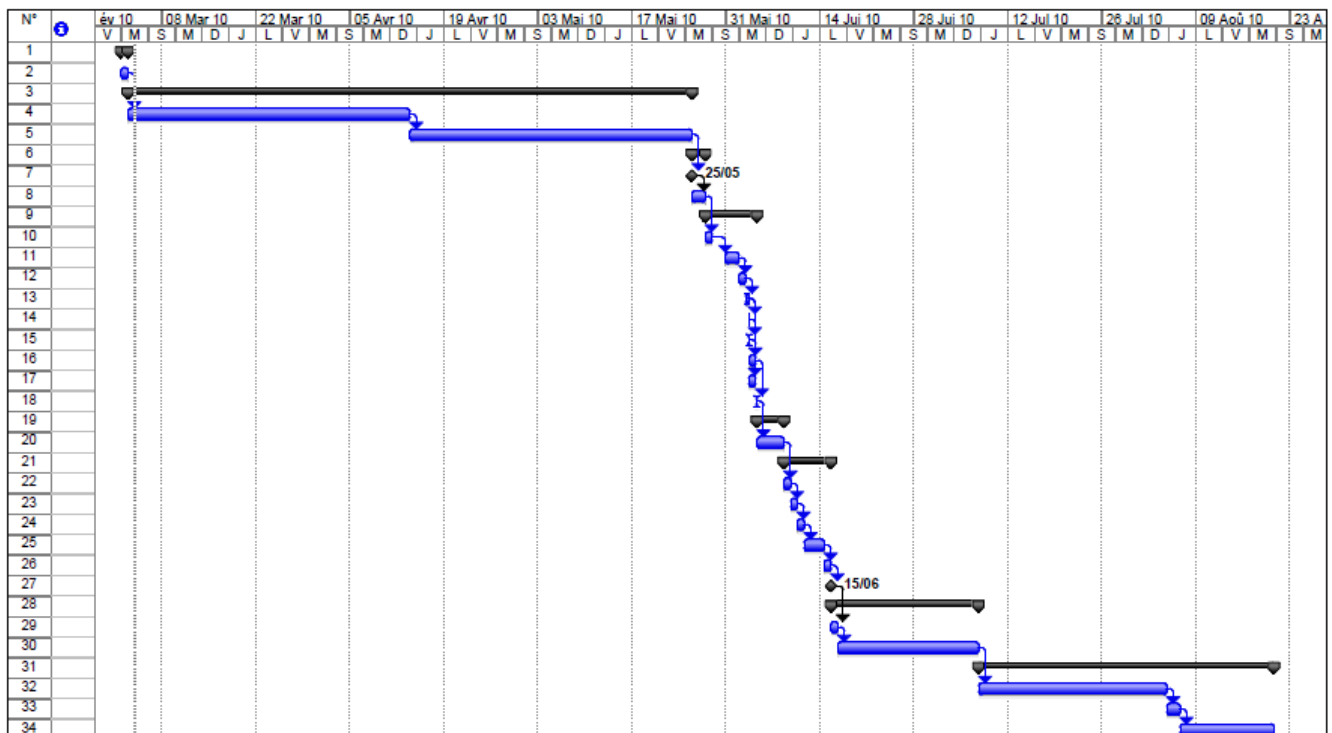


Deux prototypes de flutes traversière baroque et de hautbois baroque

Répliques fidèles d'instruments de musique à vent anciens

Calendrier prévisionnel de réalisation du projet par diagramme type Gantt :

Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs
Recherches préliminaires	1 jour	Mar 02/03/10	Mar 02/03/10	
Renseignements sur le code du travail et recherche de partenaires	1 jour	Mar 02/03/10	Mar 02/03/10	
Programme tutt	60 jours	Mer 03/03/10	Mar 25/05/10	
Etude des algorithmes du programme tutt	30 jours	Mer 03/03/10	Mar 13/04/10	2
Création d'un programme en c++ pour l'optimisation de plans d'instrument	30 jours	Mer 14/04/10	Mar 25/05/10	4
Etude d'une clarinette baroque	2 jours	Mar 25/05/10	Jeu 27/05/10	
Achat de plans d'instruments auprès de musée et du CNRS	0 jour	Mar 25/05/10	Mar 25/05/10	5
Réalisation de plans sous le logiciel tutt pour adapter l'instrument aux matériaux utilisés et aux méthodes de fabrication	2 jours	Mer 26/05/10	Jeu 27/05/10	7
Prototype de clarinette baroque	5,86 jours	Ven 28/05/10	Ven 04/06/10	
Usinage d'un moule dans le bois dont sera constitué l'instrument	1 jour	Ven 28/05/10	Ven 28/05/10	8
Moulage la fibre	2 jours	Lun 31/05/10	Mar 01/06/10	10
Séchage de la fibre	1 jour	Mer 02/06/10	Mer 02/06/10	11
Démoulage l'instrument	1 hr	Jeu 03/06/10	Jeu 03/06/10	12
Relevé de la rugosité arithmétique du moule (donc de l'empreinte interne de l'instrument)	1 hr	Jeu 03/06/10	Jeu 03/06/10	13
Appliquer le Gel Coat	2 hr	Jeu 03/06/10	Jeu 03/06/10	13
Séchage gel coat	1 jour	Jeu 03/06/10	Ven 04/06/10	15
Mise à jour des plans de l'instrument suivant sa rugosité interne	1 jour	Jeu 03/06/10	Ven 04/06/10	14
Plan de perce et usinage des trous	3 hr	Ven 04/06/10	Ven 04/06/10	16
fabrication du bec	2 jours	Ven 04/06/10	Mar 08/06/10	
Perçage, tournage, usinage	2 jours	Ven 04/06/10	Mar 08/06/10	18
Essais et contrôle qualité	5 jours	Mar 08/06/10	Mar 15/06/10	
Essais de l'instrument par des joueurs qualifiés	1 jour	Mar 08/06/10	Mer 09/06/10	20
Relevé des fréquences passives de l'instrument	1 jour	Mer 09/06/10	Jeu 10/06/10	22
Relevé du spectre et des paramètres	1 jour	Jeu 10/06/10	Ven 11/06/10	23
Itération si nécessaire sur les plans précédemment	1 jour	Ven 11/06/10	Lun 14/06/10	24
Mesure du volume sonore et estimation d'un facteur de facilité d'émission de l'instrument	1 jour	Lun 14/06/10	Mar 15/06/10	25
Mise à jour d'une base de donnée des instruments pour stocker les informations ayant contribué à l'amélioration de ceux-ci	0 jour	Mar 15/06/10	Mar 15/06/10	26
Réalisation d'instrument en bois	16 jours?	Mar 15/06/10	Mer 07/07/10	
Envoi des plans à l'entreprise de fabrication	1 jour?	Mar 15/06/10	Mer 16/06/10	27
réalisation de l'instrument	15 jours	Mer 16/06/10	Mer 07/07/10	29
Réalisation d'outils de communication	32 jours	Mer 07/07/10	Ven 20/08/10	
Réalisation d'un site internet	20 jours	Mer 07/07/10	Mer 04/08/10	30
Réalisation de cartes de visite	2 jours	Mer 04/08/10	Ven 06/08/10	32
Contacts auprès de conservatoires, musiciens, magasins de musique	10 jours	Ven 06/08/10	Ven 20/08/10	33



Bibliographie scientifique générale

- 1] E. Leipp, **Acoustique et musique**, Editions Masson & Cie, Paris, ©1971
- 2] D. Mercier (collectif d'auteurs), **Le livre des techniques du son**, Editions Dunod, Paris, ©1998, ISBN 2 10 004130 4
- 3] R.P. Feynman, **Le cours de physique de Feynman**, Editions Bilingua, Addison-Wesley Publishing Cie, London, ©1963.
- 4] I. B. Crandall, **Vibrating Systems and Sounds**, Editions Macmillan & Co, ©1926, London.
- 5] A. Danhauser, **Théorie de la Musique**, Editions Henry Lemoine, ©1996, Paris, ISMN M-2309-2226-5
- 6] J.Kergomard, A.Chaigne, **Acoustique des instruments de musique**, Editions Belin, ©2008, Paris.

Bibliographie propre aux travaux de recherche :

- 7] J.L. Le Carrou, **Vibro-acoustique de la harpe de concert**, Thèse de l'Université du Maine, 2008.
- 8] J. Marozeau, **L'effet de la fréquence fondamentale sur le timbre**, Thèse de l'Université de Paris VI, 2004
- 9] L. Millot, **Étude des instabilités des valves : application à l'harmonica diatonique**, Thèse d'Université, Paris, 1999

