

**UN ORGUE A
COMMANDE
PNEUMATIQUE
ET SES PERIFERIQUES**



François BOUCHER

2013

TABLE DES MATIERES

Préface	page 4
Article revue ECAM	page 6
La fabrication des cartons	page 11
Méthode manuelle	page 15
Méthode semi automatique	page 21
La fabrication des fichiers pour la perforatrice	page 27
La perforatrice de cartons	page 41
La flute de pa n et son mécanisme	page 65
Vannes à membrane concentrique	page 77
Soufflerie	page 91
Soufflerie centrifuge	page 95
Le système Gavioli	page 100
Le soufflerie type Hamel	page 102
Soufflerie Hamel approche différente	page 113
Station d'essai des tuyaux	page 125
La fabrication des tuyaux métalliques	page 137
Le montage de l'orgue	page 163

L'ORGUE A COMMANDE PNEUMATIQUE OU ORGUE DE BARBARIE

Les facteurs d'orgue ont été tentés de tous temps de mécaniser cet imposant instrument de musique.

Dans son ouvrage commandé en 1763 par l'académie des sciences pour être inclus dans une encyclopédie:

DESCRIPTION DES ARTS ET METIERS, FAITES ET APPROUVEES
PAR MESSIEURS DE L'ACADEMIE DES SCIENCES

Don BEDOS de CELLE consacre, dans son ouvrage monumental rédigé entre 1663 et 1675, un chapitre consacré à la *Construction d'un orgue de 8 pieds pour être joué par un cylindre, sans avoir besoin d'un organiste.*

Il faudra attendre la seconde moitié du 19^o siècle pour qu'apparaisse la commande pneumatique pilotée par un carton perforé.

Cet orgue lorsqu'il est de dimension modeste va prendre le nom d' "*orgue de barbarie*", pour les instruments monumentaux ils porteront bien souvent le nom de leurs facteurs: *limonaires* ou encore *orgues de foire*. Il s'agit d'orgues possédant de nombreux jeux de tuyaux à bouche ou à anche et bien souvent des sections rythmiques constituées par des tambours clochettes etc..

Le présent ouvrage consiste à expliciter la construction, par un amateur, d'un orgue de dimension modeste (un jeu de 42 tuyaux à bouche) ainsi que ses périphériques: la fabrication des cartons et leur perforation. Il comporte des redites et certainement des inexactitudes, néanmoins grâce à l'emploi de moyens de mesure modernes l'auteur a vérifié et explicite le résultat des mesures.

L'instrument décrit, bien que basé sur les mêmes principes, s'éloigne des solutions retenues pour la construction des orgues de barbarie traditionnels. Il se révèle être plus le travail d'un mécanicien que d'un fabricant d'orgue mécanique.

La solution de commande retenue a été celle de la *commande pneumatique*, la partition musicale étant transcrite sur un carton perforé.

L'électronique bien que présente au niveau de la perforatrice et de la soufflerie n'a pas été retenue pour piloter l'ensemble de l'orgue. Le système, de commande pneumatique, bien que plus complexe et délicat à mettre en œuvre, s'est révélé plus passionnant à mettre au point et à réaliser. Cela qui ne veut pas dire que l'apport des technologies modernes a été écartée à priori.

Dans le présent ouvrage chaque chapitre étudie une des composantes de l'orgue tel que soufflerie, tuyaux etc....Les solutions retenues sont bien souvent originales ou iconoclastes n'en déplaise aux tenants de l'orthodoxie.

En préambule l'auteur inclut un article consacré à l'orgue rédigé pour être publié dans la revue des anciens élèves de l'Ecole Catholique d' Art et Métiers et dont est issu le rédacteur.

François BOUCHER 2013

L'ORGUE Instrument de musique ou pièce de mécanique

Lorsqu'un Ingénieur ECAM pénètre dans une église, après ses dévotions d'usage, et qu'il entame sa visite, son regard est bien souvent arrêté sur le drôle d'instrument de musique installé sur une tribune généralement située au fond de l'édifice.

Il admire les prouesses du menuisier ou du sculpteur sur bois, qui l'on construit, et en bon ingénieur mécanicien la qualité des tuyaux apparents.

Il est bien souvent ignorant que ce décor cache une mécanique d'une très grande complexité.

Contrairement aux instruments de musique traditionnels chaque orgue est unique, il correspond à l'édifice qui le reçoit, aux désirs des musico-logues et il faut bien le dire à l'enveloppe financière réservée pour sa construction. En effet un orgue est un instrument très onéreux à construire mais par chance modulable donc adaptable à n'importe quelle situation. Certains orgues dans des églises de petite dimension ne sont constitués que d'un nombre restreint de jeux propres uniquement à l'accompagnement de la

liturgie, alors que les grands édifices religieux possèdent des instruments colossaux que l'on qualifie de symphoniques.

De prime abord la première question que l'on peut se poser est: pourquoi les orgues sont généralement réservés aux édifices religieux, la réponse est à la fois historique et purement acoustique.



Orgue de Saint Cécile ALBI

Sans vouloir faire un cours d'histoire il faut remonter la nuit des temps pour trouver la trace de la genèse de cet instrument. Au départ était la flûte à trous confectionnés dans un os animal et dont on trouve les vestiges dans les fouilles archéologiques concernant l'homme des cavernes. Aux environs du IV^e siècle avant Jésus Christ on trouve la description de mécanismes, souvent hydrauliques pour la production de l'air comprimé, permettant de faire sonner un assemblage de flûtes actionnées manuellement.

Le principe de l'orgue était né, il faudra attendre envi-

ron 250 ans avant Jésus Christ pour trouver trace d'instruments plus élaborés: "l'hydraule" de Pompéi fait état d'un instrument comprenant 13 touches, quatre rangées de tuyaux et munis d'un dispositif hydraulique permettant d'obtenir une pression d'air suffisante et régulière. En effet le développement de l'orgue est intimement lié au fait qu'il a besoin pour fonctionner d'une quantité importante d'air sous une pression régulière généralement comprise entre 10 et 20 cm de pression d'eau parfois plus dans les orgues de grande dimension. (1 cm d'eau = 98.067 Pascal = 0.00098067 bar



Il faudra attendre la seconde moitié du premier millénaire pour trouver des traces écrites d'instruments fonctionnant avec des soufflets rudimentaires actionnés manuellement. On est certain qu'un instrument fut installé à l'abbaye de Fécamp aux alentours de l'an 900 et qu'il possédait entre 7 et 12 notes. Hélas aucun vestige ne nous est parvenu.

Les premiers instruments dont on trouve les traces matérielles datent généralement du 13^{ème} siècle. Dans son principe: touches actionnant des soupapes autorisant l'arrivée d'air dans les tuyaux rien n'a changé depuis. Les innovations ont toutes portées dans le dispositif de production de l'air. Jusqu'au 19^{ème} siècle et préalablement à la généralisation des turbines électriques, l'air était comprimé au moyen de soufflets de type cunéiforme actionnés à la main ou au pied. On signale un orgue comprenant environ 400 tuyaux installé en Angleterre à Winchester et qui nécessitait l'emploi de 70 personnes pour fonctionner correctement.

Il faudra attendre le XV siècle pour que toutes les cathédrales et les grandes églises soient pourvues de cet instrument. La religion catholique romaine fut le vecteur du développement de l'orgue. Selon les confessions son rôle fut primordial à la liturgie ou carrément bannis comme c'est le cas dans l'orthodoxie ou toléré dans certains lieux de cultes réformés.

L'essor de l'orgue au XV siècle puis son âge d'or jusqu'au début du XX siècle pouvait alors commencer. Facteurs d'orgue, compositeurs et organistes contribuèrent alors à lui donner

ses lettres de noblesse.

Après ce bref aperçu historique il est temps de revenir à la technique proprement dite avant de parler acoustique.

Le son produit est généré par deux sortes de transducteurs, les tuyaux à bouche et les tuyaux à anches.

Les tuyaux à bouche fabriqués en métal ou en bois sont ceux que l'on remarque en contemplant un orgue. Ils sont identiques à une flûte ou un pipeau : toutes les pièces sont fixes: une lame d'air vient se mettre en vibration en buttant sur un obstacle appelé lèvre supérieure. La hauteur du son produit est directement liée aux dimensions du tube. Les tuyaux sont à leur extrémité supérieure soit ouverts ou bouchés. Suivant le cas ils donnent le son fondamental ou son octave inférieure. Pour in formation, un tuyau ouvert donnant le Do2 (131 hertz) à une hauteur de tube de 1258 mm environ pour le Do5 (1046 hertz) elle ne sera plus que de 140mm. Une question se pose les énormes tuyaux que l'on contemple ont' ils une quelconque utilité vu leur taille imposante: oui et non parfois ils sont factices et présents pour le décor d'autres possèdent sur leur face cachée des orifices permettant de les accorder dans la

gamme audible. A titre indicatif le grand orgue de Notre Dame de Paris possède environ 8000 tuyaux à bouche.

Le timbre est le résultat fort complexe de la forme et des dimensions du tuyau, tout s'explique par l'intensité et la quantité d'harmoniques générées.

Les tuyaux sont associés en rangs que l'organiste peut faire jouer ensembles ou individuellement en sélectionnant le dispositif d'arrivée d'air appelé registre. Ce sont les gros boutons que l'on aperçoit sur les consoles. Sur les orgues à commande électrique il s'agit simplement d'interrupteurs. La transmission de mouvement purement mécanique est remplacée par des électroaimants.

Les tuyaux à anche en bien moindre quantité sur un orgue sont du type à anche métallique vibrante. Ces tuyaux produisent un son spécifique qui donne de "l'éclat" et du "brillant" à l'orgue. Ils sont très riches en harmoniques et très difficiles à accorder du fait de leur fragilité.

Les différents types de tuyaux sont regroupés sous forme de jeux (différents octaves) ou de mixtures (fonction des harmoniques générées), le compositeur et l'organiste feront le choix de les faire sonner ensemble ou pas et ce librement en fonction de l'œuvre interprétée.

.Cela complique terriblement la chaîne cinématique de l'instrument.

De toutes ces descriptions on aura vite conclu que le problème est d'amener l'air comprimé (le vent en termes d'organiste) au bon endroit (le tuyau désigné) et au bon moment (suivant la partition) en fonction des ordres que l'organiste transmet à l'instrument au moyen des touches de la console.

L'arrivée d'air dans les tuyaux est commandée par des soupapes elles mêmes pilotés mécaniquement par des jeux de biellettes appelées vergettes ou pour les orgues à commande électrique des électro aimants. Une mention particulière peut être faite pour les orgues à commande pneumatiques appelée encore orgues de barbarie dont les vannes particulières sont commandées par une dépression d'air générée par le passage d'un carton perforé devant un évent appelé "flûte de pan".

Pour les orgues à commande mécanique, historiquement les plus fréquents, et pour qui ont assisté actuellement à un regain d'intérêt, entre la touche ou la pédale de la console de jeu et la soupape existe tout un système de tirasses, ver-

gettes, rouleaux qui sont en fait des dispositifs de traction. Sur les orgues les plus importants tel celui de Saint Sulpice à PARIS, qui comporte environ 7000 tuyaux de toutes sortes, la force exercée par l'organiste pour mettre en jeu toute cette mécanique fait qu'à moins de posséder une force herculéenne il devient impossible de jouer de tels instruments. C'est pourquoi un système mis au point au milieu de 19 siècle par un Anglais : Barker puis amélioré par Cavallé-Coll à permis de résoudre le problème. Il s'agit d'une assistance pneumatique qui par un jeu de soufflets amplifie la pression d'air nécessaire à l'ouverture des soupapes. Cela permet de diminuer de façon notoire la fermeté des claviers. Il va sans dire que cela complique le cinématique et que de tels orgues nécessitent un entretien permanent. Un autre inconvénient réside dans le fait qu'entre le moment où l'organiste appuie sur une touche et le tuyau sonne il existe un décalage de temps dont le musicien doit tenir compte.

Les orgues à commande électriques, qui n'ont pas toujours la faveur des instrumentistes, dans le principe sont plus simples. Ils permettent de piloter les orgues les plus importants tels Notre Dame de

PARIS ou Saint Eustache. Leur principe est simple: chaque touche ou pédale est en fait un interrupteur électrique qui commande un électro-aimant pilotant une vanne. Depuis l'invention d'un tel système au début du 20 siècle l'électronique puis la numérisation des signaux font qu'entre l'organiste et le tuyau générant le son c'est un ordinateur qui pilote l'instrument. Ceci à pour effet de supprimer toute sensibilité dans le jeu de l'organiste puisque l'électronique ne connaît que le tout ou rien. C'est pourquoi les orgues construits actuellement sont pratiquement tous à commande mécanique (orgue Aubertin de Saint Louis en Ile PARIS).

Reste un problème: **l'acoustique**. L'orgue contrairement aux instruments d'un orchestre symphonique n'est pas modulable en intensité du son et chaque note jouée ne peut pas être modulée. Un orgue placé dans un auditorium de concert, non réverbérant, produit un son peu agréable, alors que dans un lieu de culte ou la réverbération est importante il donnera une amplitude et une écoute inégale. Ceci est du au fait que lorsqu'on coupe l'air dans un tuyau le son réverbéré continue à se propager en diminuant d'intensité jusqu'à arriver aux oreilles de l'auditeur. Ceci explique, pour partie, le fait que tous les grands instruments sont placés dans de vastes

vastes églises ou des cathédrales. Généralement les auditoriums de concerts ne sont dotés que d'instruments de faible importance nécessaires à certaines partitions telles le dernier acte du FAUST de Gounod.

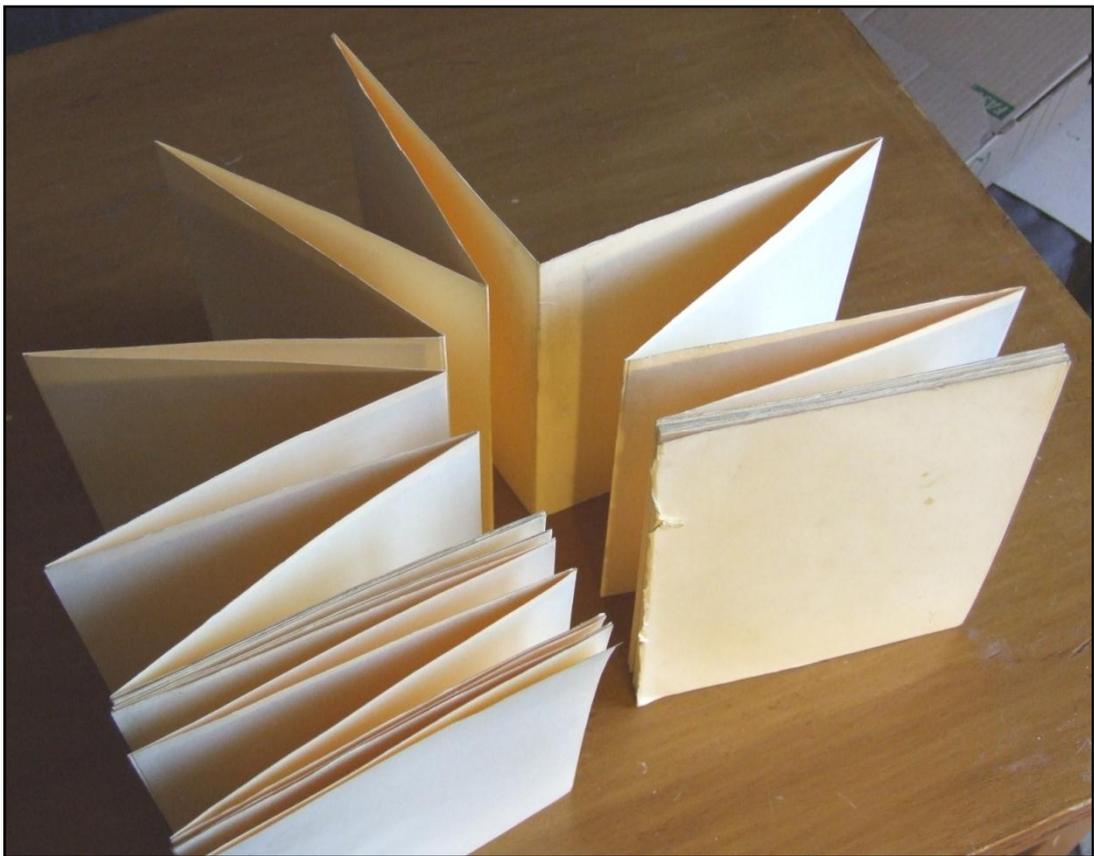
Résumer un tel instrument vieux de vingt cinq siècles environ n'est pas chose facile c'est pourquoi j'invite ceux qui seraient passionnés à se référer à l'ouvrage de DON

BEDOS de CELLE : L'ART DU FACTEUR D'ORGUE paru en 1767. IL est toujours d'actualité, et est considéré comme la bible des organiers n'en déplaise aux électroniciens et adeptes du tout numérique.



ORGUE DE BARBARIE

FABRICATION DES CARTONS



AVANT PROPOS

La fabrication de cartons pour orgues de "barbarie" ou de "limonaires" pose bien des problèmes aux amateurs ou "bricoleurs du dimanche".

En effet, outre l'approvisionnement du carton parfaitement dimensionné il faut le plier et c'est là que débutent les problèmes.

Si l'on fait le tour sur internet des solutions proposées cela va de la construction de rainureuse sophistiquée:

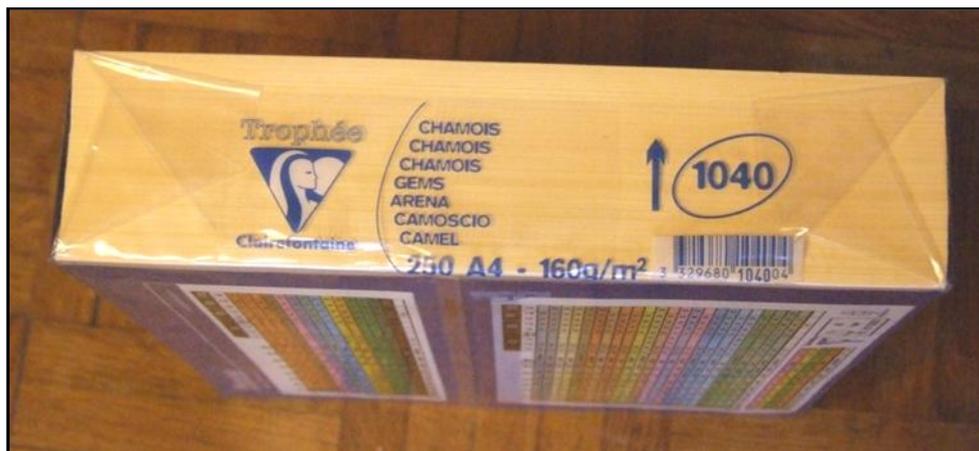
jeanclaude.augiron.perso.neuf.fr

digne des meilleures réalisations professionnelles à des solutions plus aléatoires.

Ayant eu entre les mains des cartons qui visiblement étaient "contre collés" c'est la solution qui a parue la plus accessible aux amateurs.

LE CARTON

Etant donné qu'il s'agit de deux feuilles de carton "contre collées" l'approvisionnement sera le suivant:



Il s'agit de ramettes de carton 160gr/m² format A4, ce qui après collage permettra d'obtenir des cartons de 320 gr/m²: épaisseur et rigidité largement suffisante pour la fabrication et la perforation.

Le coût (2013) de ce type de ramettes est de 10.00€ TTC pièce (OFFICE DEPOT) ce qui, compte tenu qu'une ramette permet de fabriquer environ 37 mètres linéaires de carton, amène le coût à 0.27€ le mètre, prix imbattable même au prix du carton du Pack de bière qui sur internet semble être la référence!!!!!!

Ce type de carton existe aussi en grammage 210gr/m² ce qui n'apporte rien à la rigidité souhaitée.

LA COLLE

Deux colles sont utilisables

La "colle à bois" à base d'alcool polyvinylique diluée dans l'eau à 30% environ

La colle dite à "papier peint" : polysaccharide (amidon ou cellulose) diluée à 3% en poids dans de l'eau.

Ce type de colle est ce qui s'est révélé le mieux approprié, en effet, après préparation, le mélange étant légèrement thixotropique cela facilite l'enduction du carton.

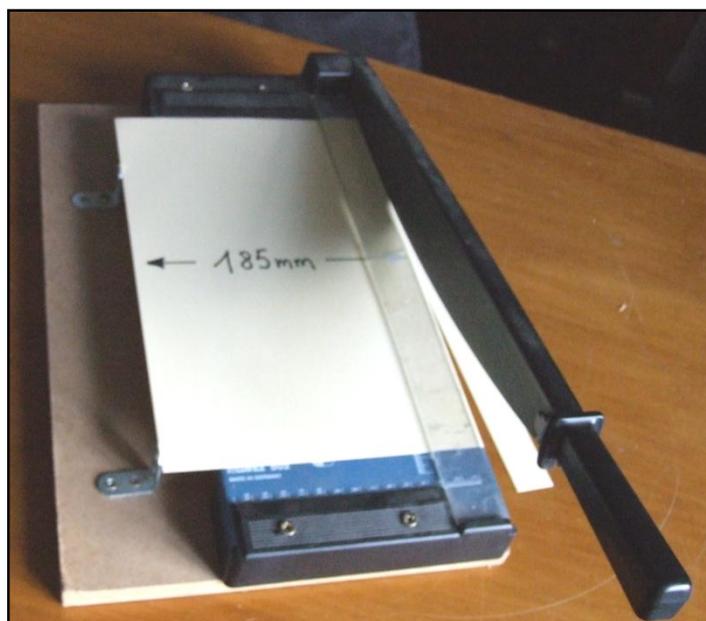


LA MISE AUX DIMENSIONS DU CARTON

Les ramettes de papier étant au format A4, il conviendra en premier lieu de mettre les cartons à la dimension souhaitée.

Comme il s'agit de commander un orgue de 42 notes les cartons auront une largeur de 185 mm. Largeur quasiment normalisée.

Si l'on connaît un imprimeur, un coup de massicot fera l'affaire, sinon on bricolera une cisaille.

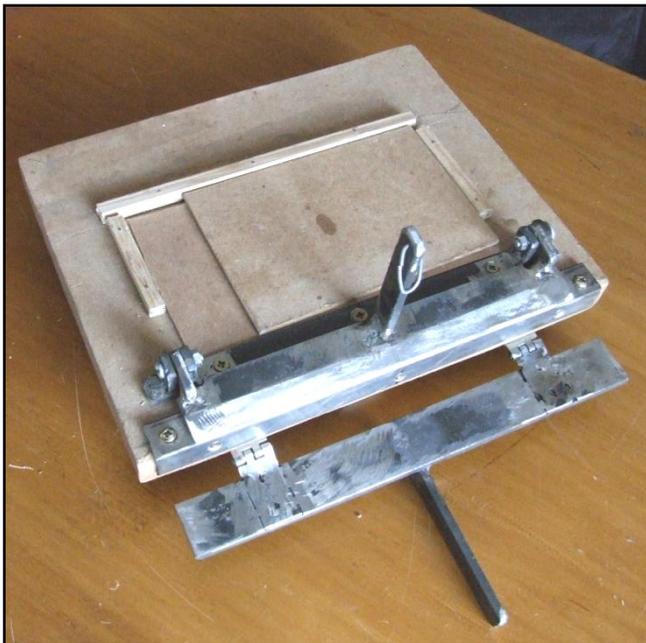
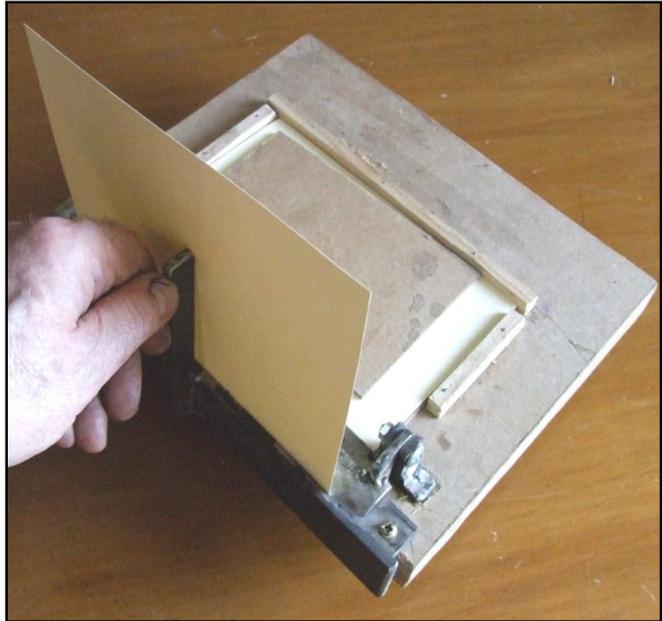


On veillera particulièrement à ce que les bords du carton découpé soient bien parallèles. En effet quelques 1/10 de mm de faux parallélismes sont préjudiciables à l'aspect final de "l'accordéon"

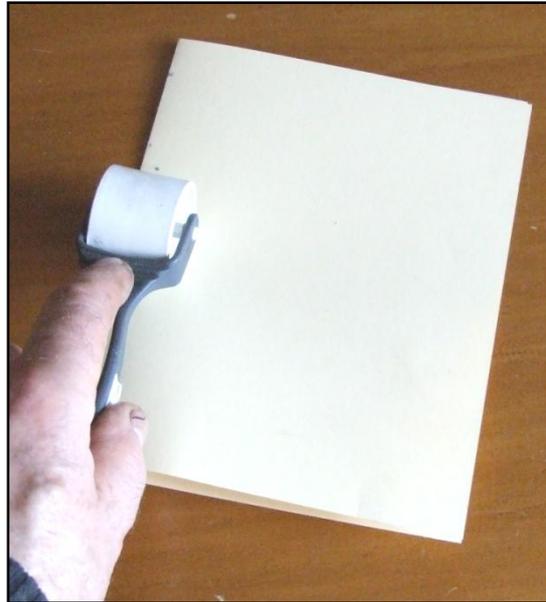
LE PLIAGE DU CARTON.

Il s'agit bien évidemment de l'opération la plus délicate. Pour ce faire on aura recours à une plieuse à main. L'auteur a bricolé ce genre d'engin rustique pour ne pas dire préhistorique.

Les photographies se passent de commentaires!
Néanmoins, **attention** le pliage étant une opération délicate, les bords du carton après pliage devront être parfaitement jointifs

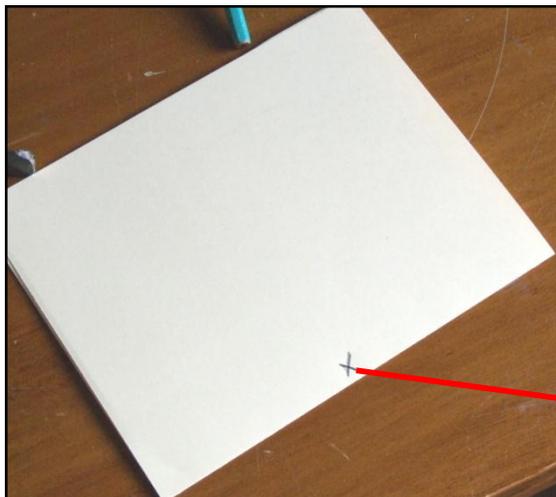


Après pliage dans la machine on aplatira la pliure au moyen d'une roulette à papier peint:



les cartons pliés de façon imparfaite seront irrémédiablement éliminés

Avant de procéder à l'encollage on aura pris soin de faire une marque au crayon coté pliure, cela pour bien repérer le sens de contre collage. Une erreur de sens de la pliure lors du collage occasionne une mise au rebus de l'ensemble du travail.



Repère au crayon coté pliure

L'ENCOLLAGE

La colle étant préparée on l'applique au moyen d'un pinceau sur une des faces du carton préalablement plié:

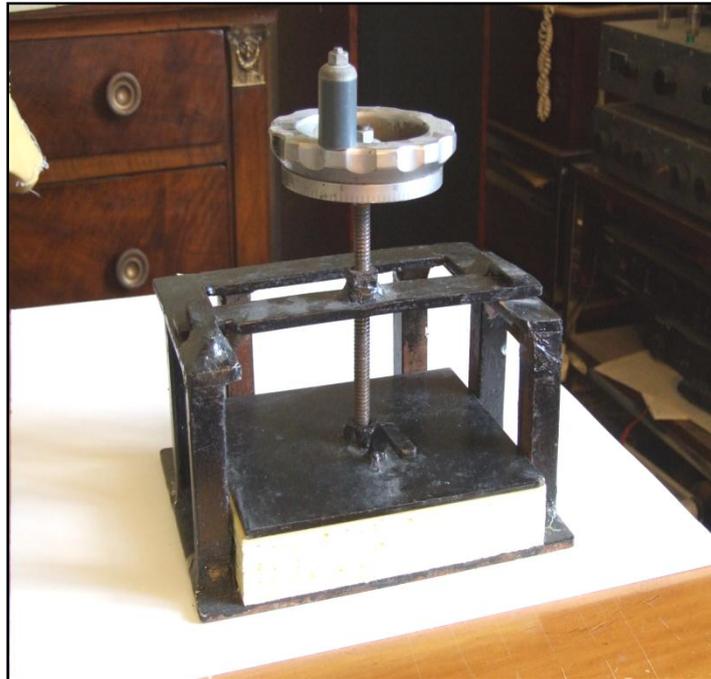


On fera en sorte de ne pas mettre de colle sur la face interne de la pliure.

Les cartons encollés seront alors positionnés avec soin sur un support préalablement confectionné. Attention au sens de la pliure repérée préalablement par une marque au crayon.

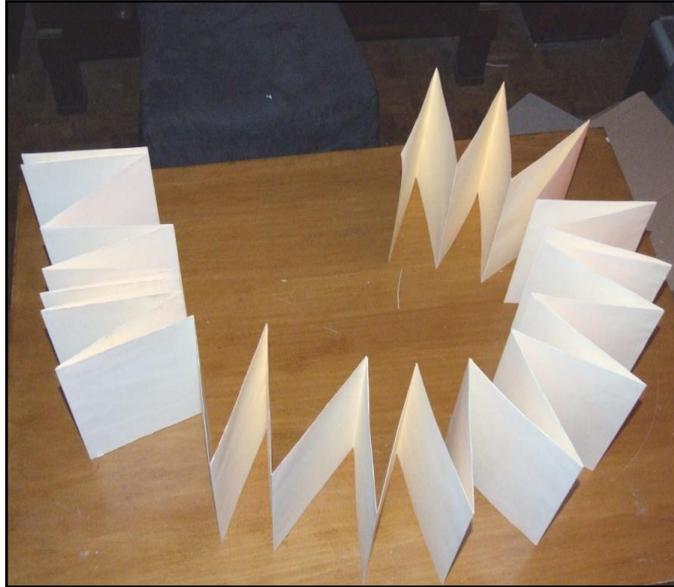


Après cette opération, on passera sous presse pendant environ **une minute, pas plus**, de façon à ce que la colle se répartisse correctement et uniformément. sur la carton encollé.



LA FINITION

Cette opération terminée (pas plus d'une minute) on procédera au séchage qui devra durer un minimum de **12 heures** suivant la température ambiante et le degré hydrométrique de l'air ambiant.



Après séchage on mettra sous presse une dizaine d'heures environ de façon à obtenir un carton prêt à être perforé.



FABRICATION SEMI-AUTOMATIQUE DES CARTONS

Le pliage et la mise à dimension des cartons est une opération fastidieuse, c'est pourquoi l'auteur s'est penché sur la réalisation d'une machine semi-automatique d'aide à la fabrication.

Si on étudie de près le processus de fabrication celui ci est le suivant:

- Pliage des cartons
- Encollage
- Pressage
- Rognage pour mise à dimension

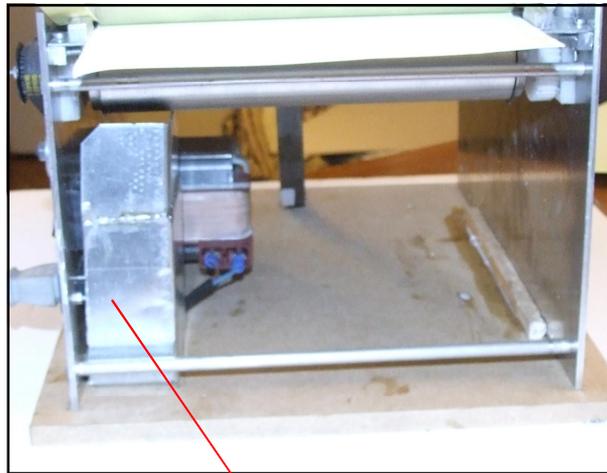
Les opérations de pliage et de rognage ne posent pas de problème particulier, par contre l'encollage demande la mise au point d'une machine complexe hors de portée de l'amateur.

Dans ce qui suit va donc être décrite une machine relativement compacte capable de plier et de rogner les cartons.

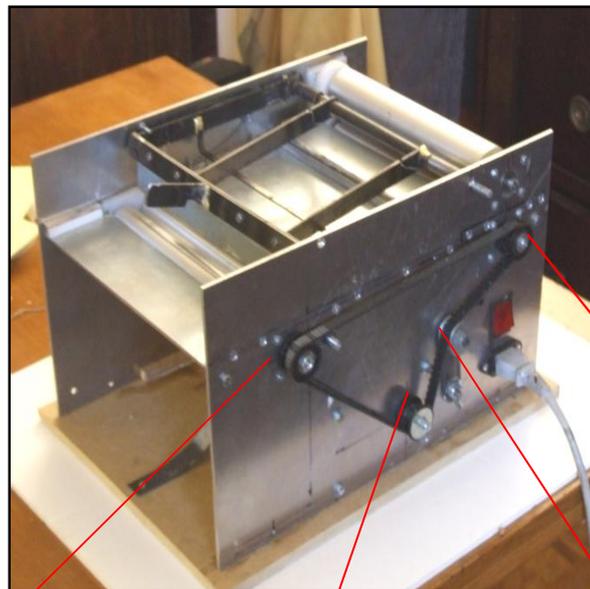
L'entraînement est réalisé au moyen d'un motoréducteur asynchrone de type ELET-TROVAGO ou BITRON , 19 tours/minute. Cette vitesse à été choisie au hasard en fonction du réducteur disponible. (www.d-e-c.com) on pourra aller jusqu'à 50 tours minute sans problème.

Ce type de motoréducteur génère un couple important il est également utilisé pour entraîner les cartons dans le dispositif de la flute de pan.

La plieuse et la rogneuse sont montées sur un même châssis avec moteur d'entraînement commun



Moto réducteur d'entraînement commun



Plieuse

Moteur d'entraînement

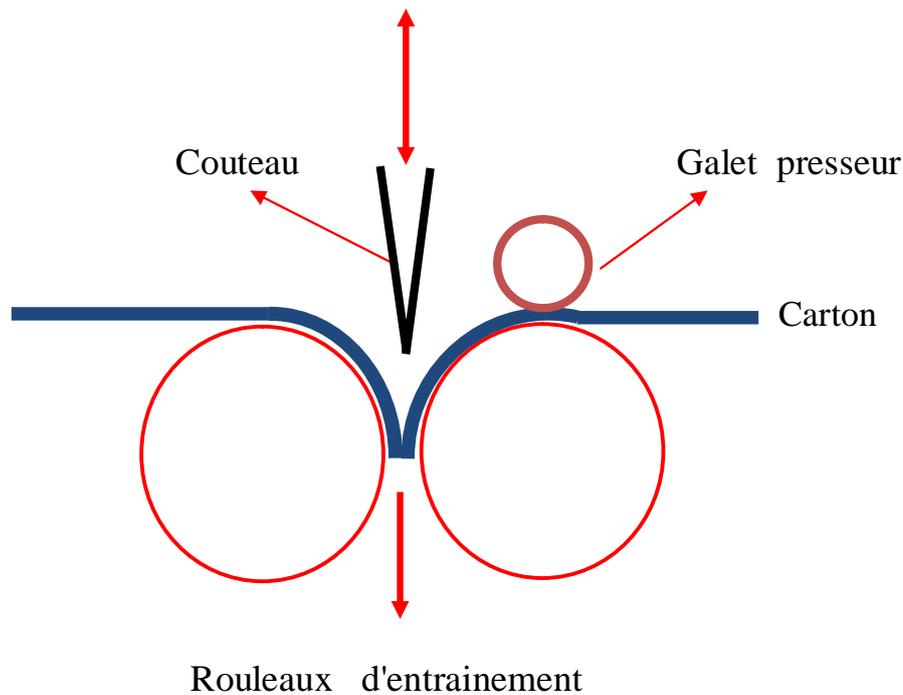
Rogneuse

Galopin

LA PLIEUSE

C'est le seul organe délicat du dispositif.

Le principe est le suivant:

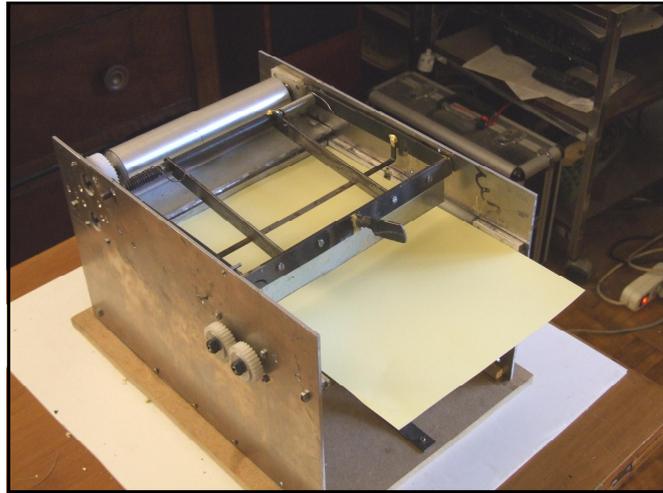


Les rouleaux d'entraînement doivent être distants de l'épaisseur du carton plié moins 1/10 de mm environ.

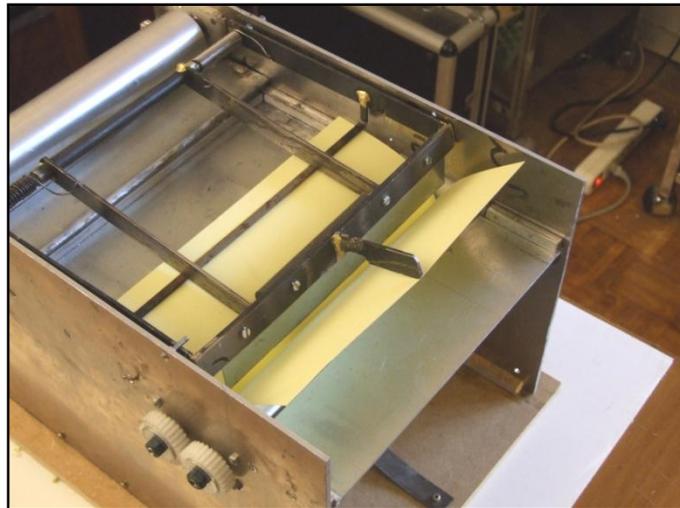
Le couteau doit être en butée de façon à plier le carton qui sera entraîné entre les rouleaux par le galet presseur et ainsi ne pas gêner le fonctionnement des rouleaux d'entraînement

Pour se faire il est indispensable de concevoir un couteau réglable en hauteur. En effet son positionnement doit se faire au 1/10 de mm, si il descend trop il bloque entre le rouleaux s'il ne descend pas assez le carton ne se trouve pas entraîné entre les rouleaux.

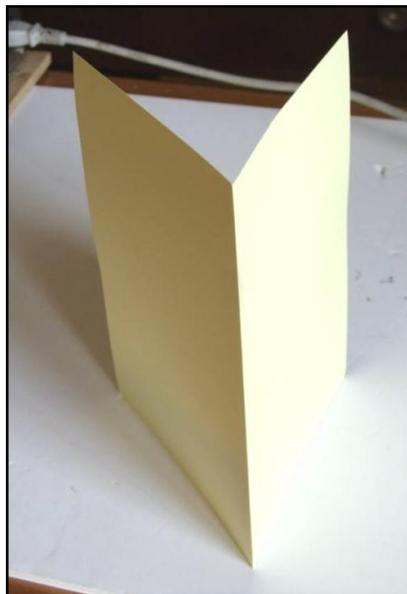
Dans le présent mécanisme le couteau est actionné manuellement, Un système automatique bielle manivelle pourra être conçu de façon à automatiser la descente



Positionnement du carton avant pliage

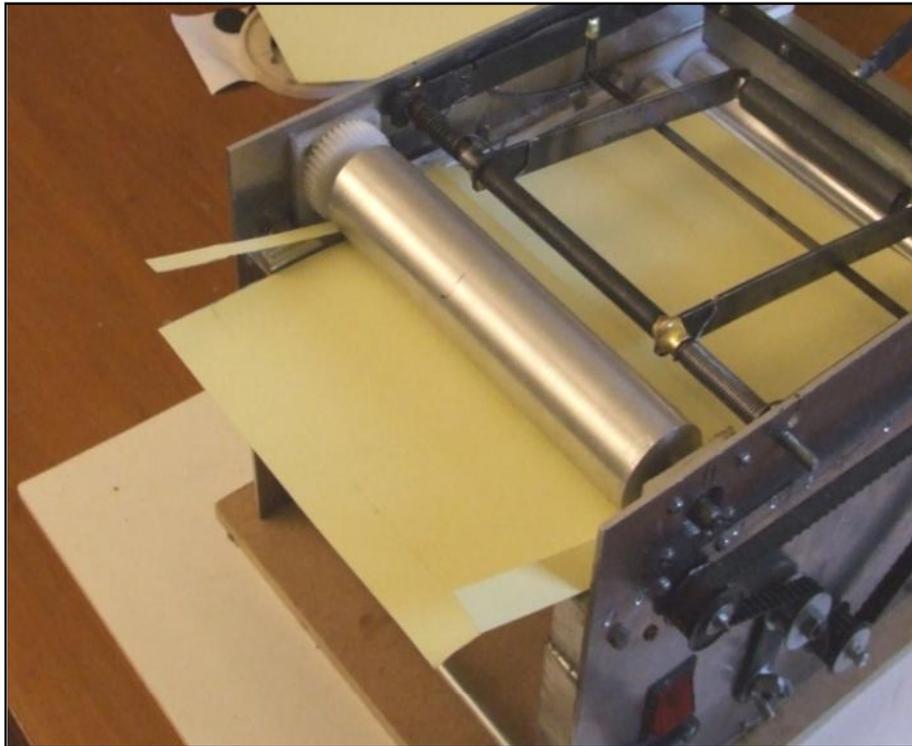


Descente du carton entre les rouleaux après pliage



Carton plié

LA ROGNEUSE



Il s'agit simplement de deux rouleaux entre lesquels passe le carton

Un des deux rouleaux est muni de deux lames circulaires rotatives pour têtes de coupe de rogneuse \varnothing 45 mm (OFFICE DEPOT) ces lames sont positionnées à la largeur exacte de découpe dans le cas présent 185 mm.

Le logiciel qui commande la perforatrice nécessite l'emploi d'un fichier MIDI afin d'envoyer les signaux nécessaires à la perforation du carton. En effet la machine trois axes doit se positionner et actionner le poinçon à l'endroit exact ou l'orgue devra exécuter une note de musique.

La conception d'un fichier MIDI (**M**usical **I**nstrument **D**igital **I**nterface) spécifique à la commande d'un orgue pneumatique ou mécanique est une affaire de spécialiste que l'on appelle "noteur". Sans des connaissances approfondies en solfège il est très difficile sinon impossible de concevoir à partir d'une simple partition musicale un tel fichier.

L'amateur qui veut se lancer dans une telle aventure devra télécharger les logiciels suivants:

Logiciel de commande de la perforatrice

PERFO V4

logiciel gratuit

[http://orgue-de-barbarie .pagesperso-orange.fr/telecharger.htm](http://orgue-de-barbarie.pagesperso-orange.fr/telecharger.htm)

Il a été conçu par Pierre PENARD et fonctionne parfaitement.

Malheureusement il nécessite un ordinateur avec sortie parallèle ce qui devient rare.

Logiciels de composition musicale assistée par ordinateur

HARMONY ASSISTANT

[www..myriad-onlin.com](http://www.myriad-onlin.com)

Il s'agit d'un logiciel payant (70 €tarif 2013) néanmoins le plus complet et possédant une abondante documentation en français. Pratiquement incontournable dans le présent domaine

ANVIL STUDIO

www.anvilstudio.com

Logiciel gratuit pas aussi puissant que HARMONY et pas toujours facile à "prendre en main" d'autant plus qu'il est uniquement en langue anglaise.

MIDISWING

www.les-stooges.org/pascal/midiswing

Logiciel gratuit ainsi que sa documentation en français. Ce logiciel rudimentaire, très facile d'emploi permet de visualiser les cartons et de rectifier ou inclure des notes aisément.

RAPPEL SUR LA NOTATION MIDI

La notation MIDI est un protocole de communication qui permet d'échanger entre instruments de musique numériques des données musicales.

Chaque note de musique est caractérisée par un ensemble de données: notes, type d'instrument, force etc..Les informations sont envoyées sur 16 canaux.

Dans notre domaine on a besoin que d'un seul canal (fichier de type SMFO) puisque le carton perforé ne comporte que deux information pour chaque note: sa hauteur de ton et sa durée (ex croche noire etc..)

LE LOGICIEL PERFO V4

Le logiciel PERFO V4 est téléchargeable avec une abondante documentation en français ainsi que la description de l'interface électronique nécessaire entre l'ordinateur et la perforatrice.

Dans le chapitre concernant la perforatrice nous donnons un typon pour confectionner cet interface ainsi que la commande de puissance du poinçon.

Le présent chapitre aura donc simplement pour but d'orienter le concepteur pour adapter le logiciel à la confection de cartons nécessaires à la bonne marche d'un orgue **42 notes pneumatique**.

Le logiciel est basé sur l'emploi de la norme MIDI, chaque note est caractérisée par son propre codage.

Le tableau ci-joint est un rappel des notes de la gamme chromatique avec pour chacune d'elle sa codification MIDI et sa fréquence en hertz.

Octave 1

24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
C1		D1		E1	F1		G1		A1		B1
Do1	Do#1	Re1	Re#1	Mi1	Fa1	Fa#1	Sol1	Sol#1	La1	La#1	Si1
32.7	34.6	36.7	38.9	41.2	43.6	46.2	49	52	55	58.3	61.7

Octave 2

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
C2		D2		E2	F2		G2		A2		B2
Do2	Do#2	Re2	Re#2	Mi2	Fa2	Fa#2	Sol2	Sol#2	La2	La#2	Si2
65.4	69.3	73.4	77.8	82.4	87.3	92.5	98	103.8	110	116.5	123.5

Octave 3

48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
C3		D3		E3	F3		G3		A3		B3
Do3	Do#3	Re3	Re#3	Mi3	Fa3	Fa#3	Sol3	Sol#3	La3	La#3	Si3
131	139	147	156	165	175	185	196	208	220	233	247

Octave 4

60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
C4		D4		E4	F4		G4		A4		B4
Do4	Do#4	Re4	Re#4	Mi4	Fa4	Fa#4	Sol4	Sol#4	La4	La#4	Si4
262	277	294	311	330	349	370	392	415	440	466	494

Octave 5

72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
C5		D5		E5	F5		G5		A5		B5
Do5	Do#5	Re5	Re#5	Mi5	Fa5	Fa#5	Sol5	Sol#5	La5	La#5	Si5
523	554	587	622	659	698	740	784	831	880	932	988

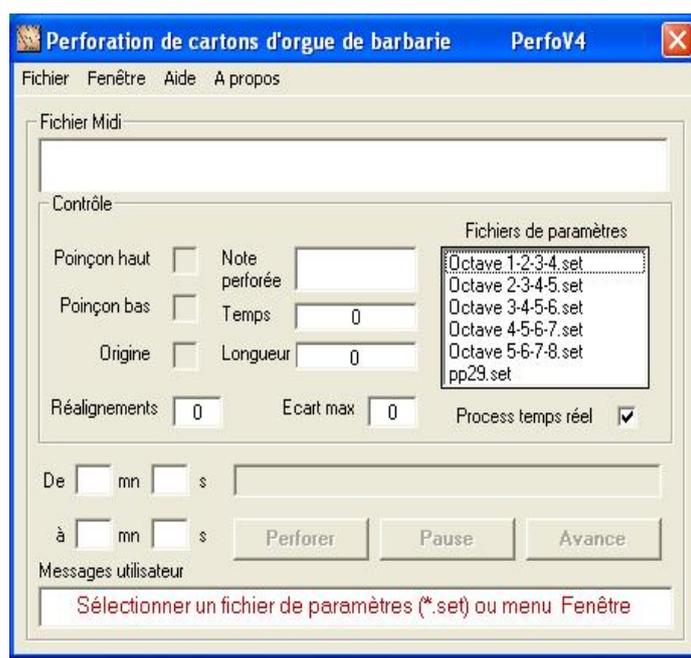
Octave 6

84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
C6		D6		E6	F6		G6		A6		B6
Do6	Do#6	Re6	Re#6	Mi6	Fa6	Fa#6	Sol6	Sol#6	La6	La#6	Si6
1047	1109	1175	1245	1319	1397	1480	1568	1661	1760	1864	1975

L'orgue que nous avons conçu possède les notes "octave 3 Do 3" code MIDI 48 à "Octave 6 Fa6" code MIDI 89 ce qui correspond à 42 notes gamme chromatique.

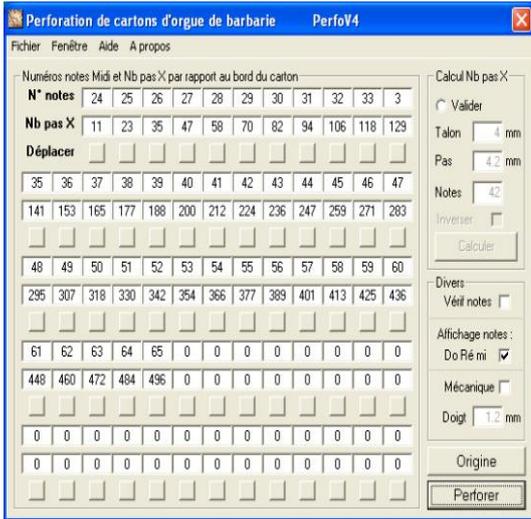
En principe pour être correctement exécutée toutes les notes de la mélodie doivent être comprises entre le Do3 et le Fa6. Hélas ce n'est pratiquement jamais le cas.

Le logiciel PERFO V4 permet de transposer, octave par octave, ce qui dès le départ facilite les choses. Voici comment procéder à l'aide d'un exemple .



Etant donné que l'orgue est capable de jouer sur 4 octaves contiguës on programmera 4 fichiers de paramètres au minimum dans la fenêtre: "F3 définition des notes". Par simplification nous les avons baptisés Octave 2-3-4-5 octave 3-4-5-6 octave 4-5-6-7 et octave 5-6-7-8

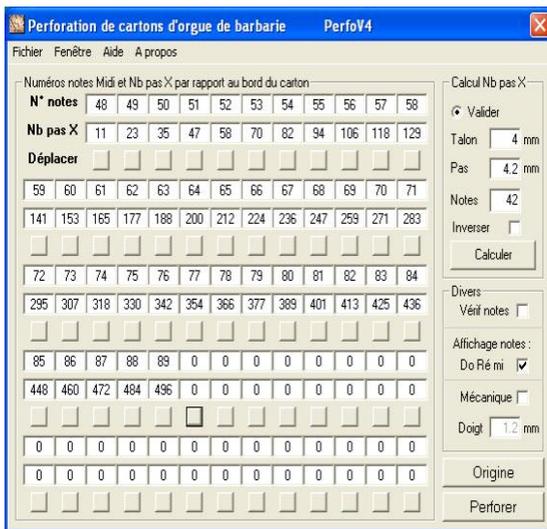
Les fenêtres sont explicitées dans les vues suivantes



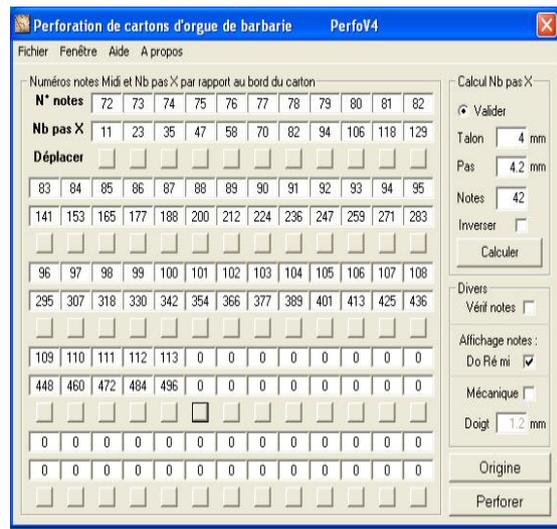
Octave 2-3-4-5



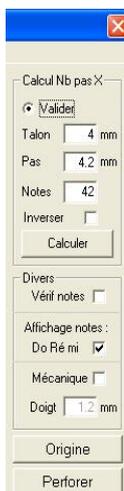
Octave 3-4-5-6



Octave 4-5-6-7



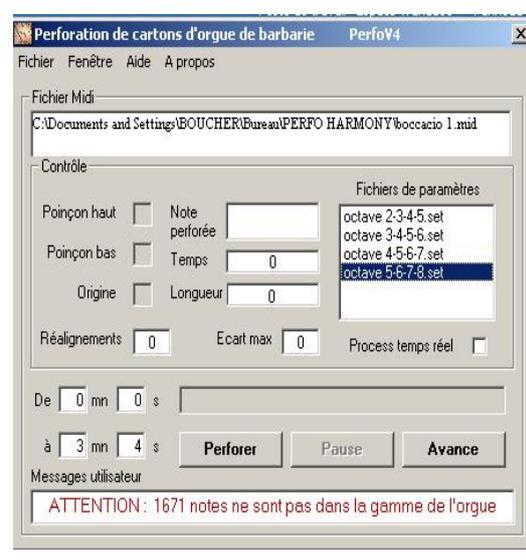
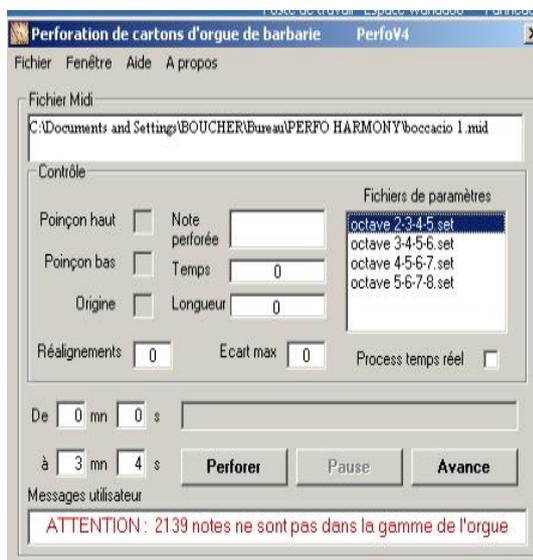
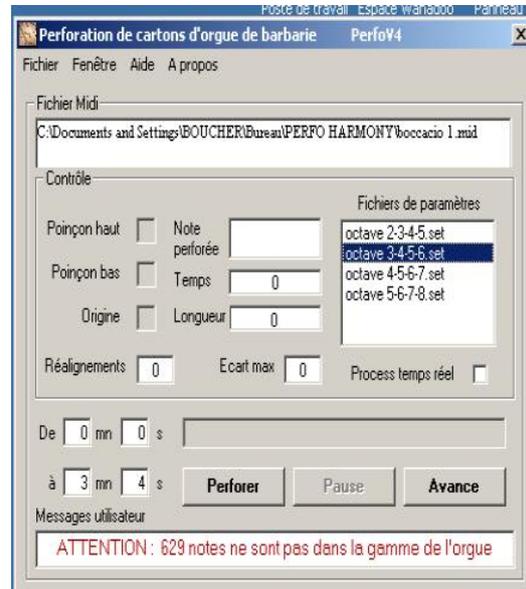
Octave 5-6-7-8



ATTENTION : Dans la fenêtre " Calcul Nb de pas X" ne pas oublier de valider et de calculer avant de sauvegarder chaque paramètre .

Pour un même fichier MIDI on pourra donc aisément faire le choix de la transposition octave par octave la plus appropriée.

L'exemple ci-dessous explicite cette manière de procéder.



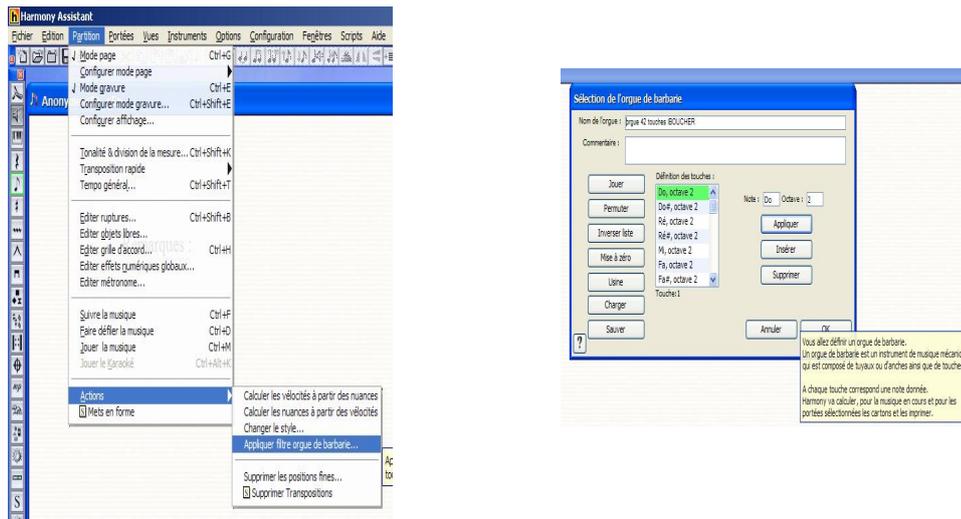
Dans le cas présent la transposition la mieux appropriée sera sur le fichier Octave 4-5-6-7 qui ne fait perdre que 39 notes. On peut donc procéder directement à la perforation.

Néanmoins afin de confronter ce résultat avec celui du logiciel HARMONY nous allons continuer la manipulation.

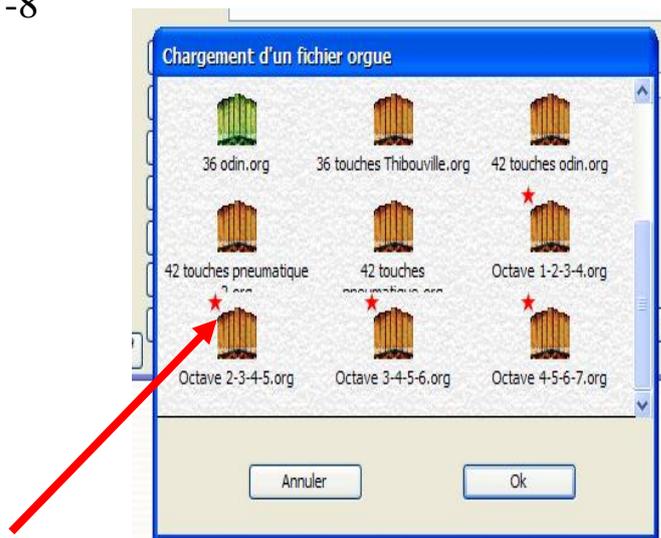
LE LOGICIEL HARMONY

Comme pour le logiciel PERFO V4 la première opération à faire est de le configurer de façon à faciliter les transpositions.

On viendra se positionner dans la fenêtre sélection de l'orgue de barbarie

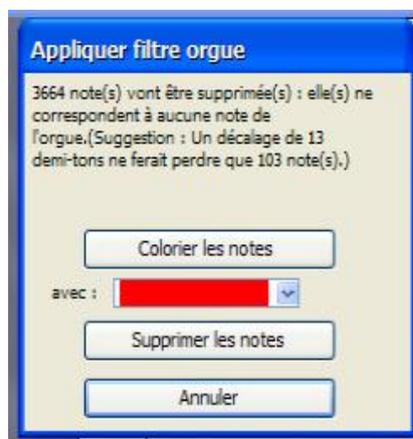
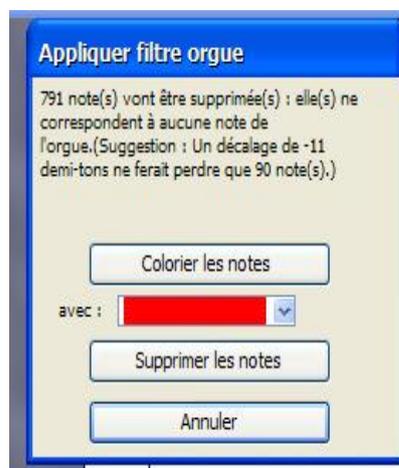


Dans la fenêtre sélection on introduira les fichiers d'orgue correspondant à ceux du logiciel PERFO V4 à savoir pour ce qui est du cas présent : orgue pneumatique 42 touches les fichiers Octave 2-3-4-5 Octave3-4-5-6 Octave 4-5-6-7 et Octave 5-6-7-8



A partir du choix de transposition que l'on a fait avec le logiciel PERFO V4 (dans le cas présent octave 4-5-6-7) on va choisir de charger dans HARMONY le même fichier d'orgue.

Dans le cas présent le logiciel nous indique que 791 notes sont en dehors des possibilités de l'orgue mais néanmoins en transposant de $-11 \frac{1}{2}$ tons seules 90 notes seraient perdues

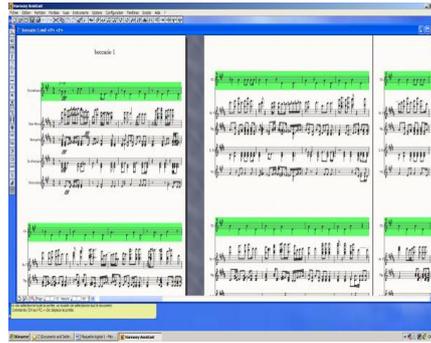


On constate d'emblée qu'il y a une différence notable entre les résultats calculés par le logiciel PERFO V4 et le logiciel HARMONY. Cela s'explique par le fait que les deux logiciels ne traitent pas de la même façon les fichiers MIDI.

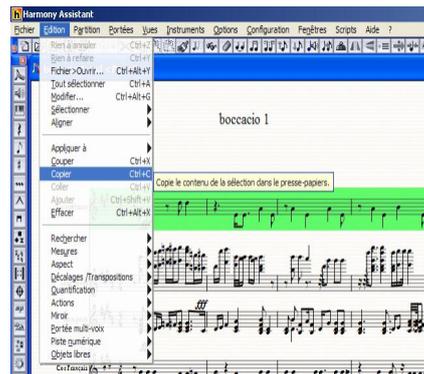
Une aide à la résolution de ce problème et à la confection d'un fichier ne comportant qu'une seule portée musicale, donc plus apte et aisé à être modifié pour une meilleure adaptation à l'orgue de barbarie va être décrite ci après.

Il faut rassembler sous HARMONY toutes les portées en une seule : voici comment procéder.

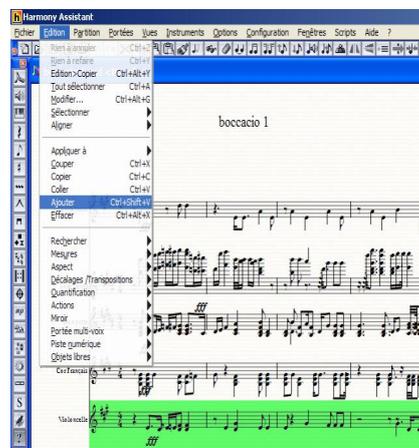
Sélectionner la portée à fusionner



Copier cette portée



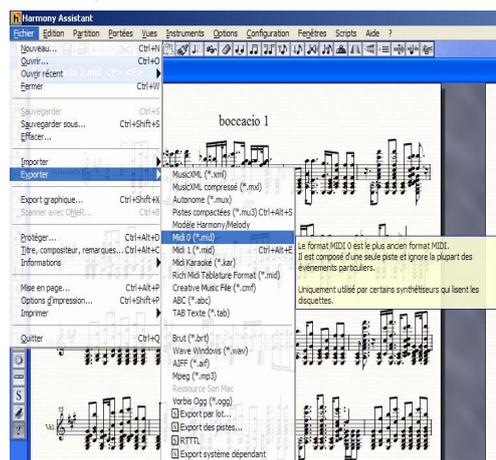
Sélectionner la portée d'accueil et « ajouter »



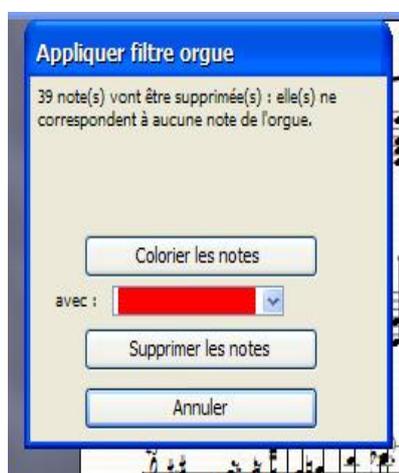
Cette opération sera reconduite pour chaque portée que l'on désirera fusionner. En fin de manipulation le fichier sera intégralement modifié pour ne figurer que sur une seule portée.



Il ne reste plus qu'à sauvegarder sous forme de fichier MIDI :

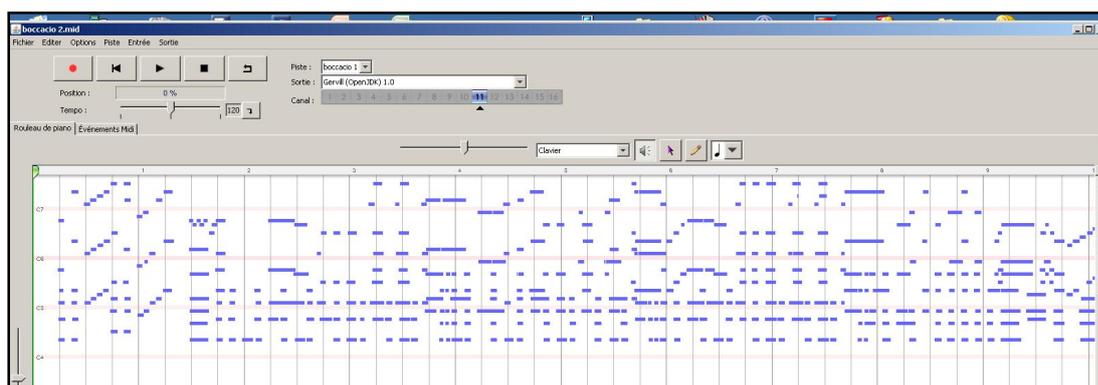


Un rapide vérification va nous permettre de vérifier que les deux logiciels donnent le même résultat soit 39 notes hors de la gamme de l'orgue.



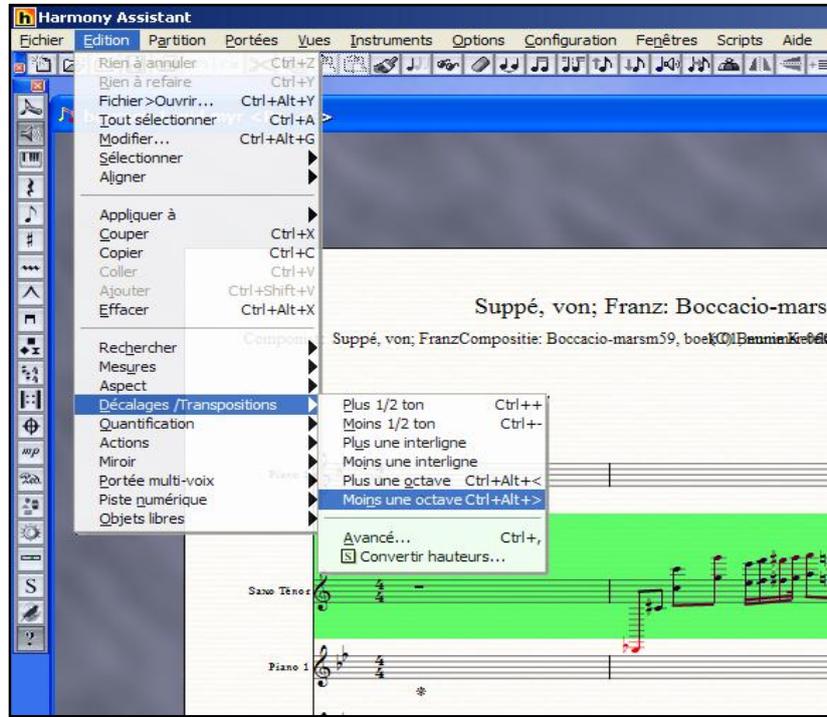
Cette manipulation peut paraître de prime abord inutile mais en réalité elle a un double intérêt :

- Un aspect didactique
- Elle permet d'obtenir un fichier qui une fois chargé dans le logiciel MIDISWING va grandement faciliter sa modification : introduction de notes ou de silences etc.



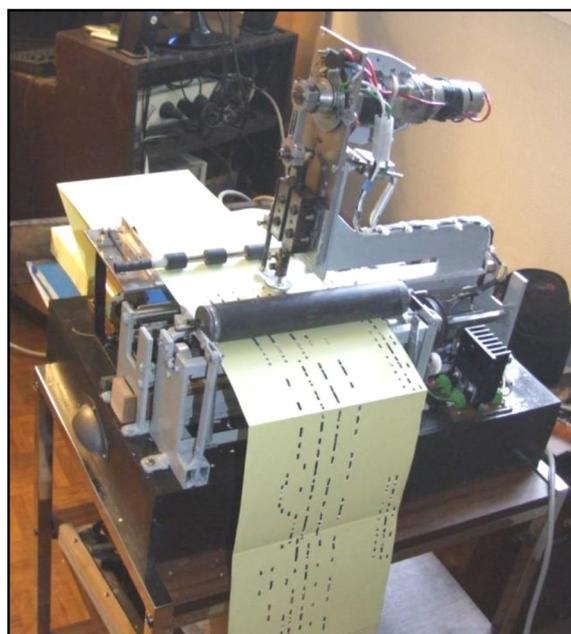
Le logiciel MIDISWING reproduit exactement le carton qui va être perforé.

Pour terminer si l'on veut améliorer encore la transposition, le logiciel HARMONY permet de ne transposer qu'une partie des notes en les sélectionnant



Ceci n'est qu'un aperçu de ce qui est faisable par un néophyte, mais néanmoins permet d'obtenir des cartons satisfaisants à l'écoute.

Il ne reste plus qu'à perforer.....



PERFORATRICE POUR CARTONS D'ORGUE DE BARBARIE



PRINCIPES DE BASE

En guise d'avant propos

Pour des raisons de facilité et par ce que les solutions adoptées par les différents constructeur, ayant publiés leurs travaux sur internet, sont parues des plus correctes aucune innovation n'est mise en œuvre.

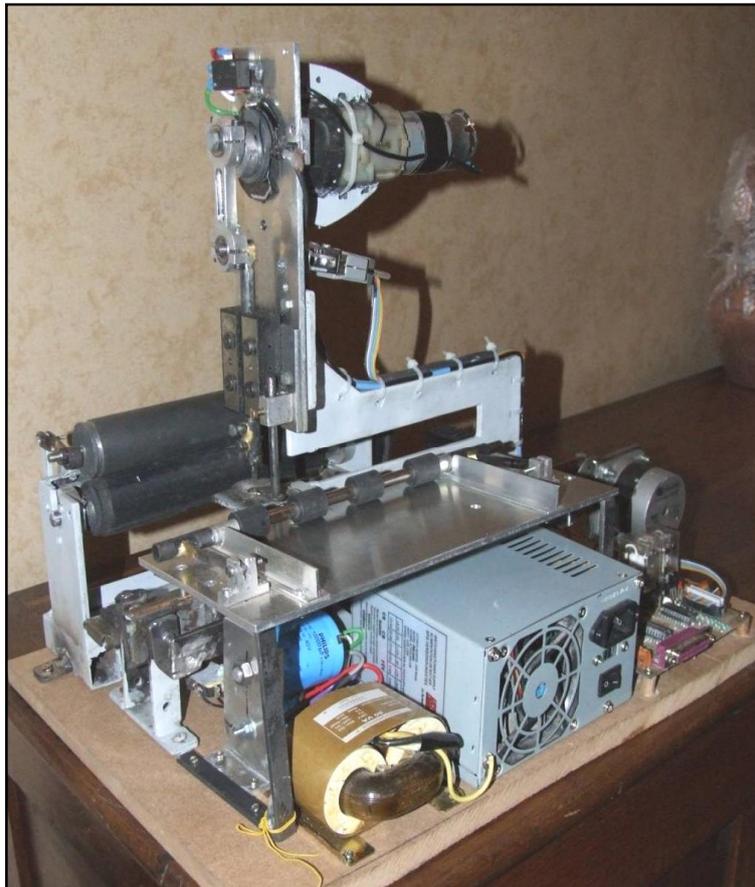
La construction de la perforatrice pour cartons d'orgues de barbarie décrite ci-après, s'inspire donc largement des travaux de Monsieur PENARD et fonctionne au moyen du logiciel PERFO V4 qu'il a conçu.

Le principe de base est celui de la "machine à coudre", le poinçon étant commandé par un système bielle-manivelle.

PRINCIPE DE CONCEPTION MECANIQUE

La machine à été conçue mécaniquement sur la base de quatre modules indépendants

- Chariot porte tête avec glissières axe des X
- Système de translation du chariot avec moteur pas à pas
- Tête de perforation
- Mécanisme de translation du carton axe des Y

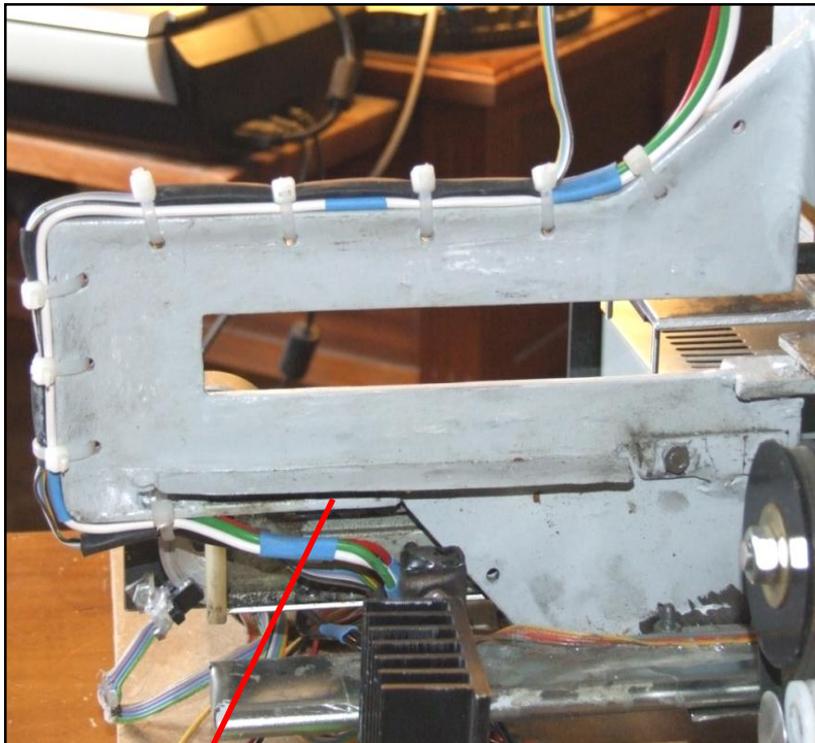


CHARIOT PORTE TETE DE PERFORATION

Ce chariot permet le déplacement de la tête suivant l'axe des X.

Le chariot est découpé dans de la tôle d'acier épaisseur 5 mm

La platine porte tête ainsi que les raidisseurs sont soudés à l'arc électrique
La tête de perforation est amovible

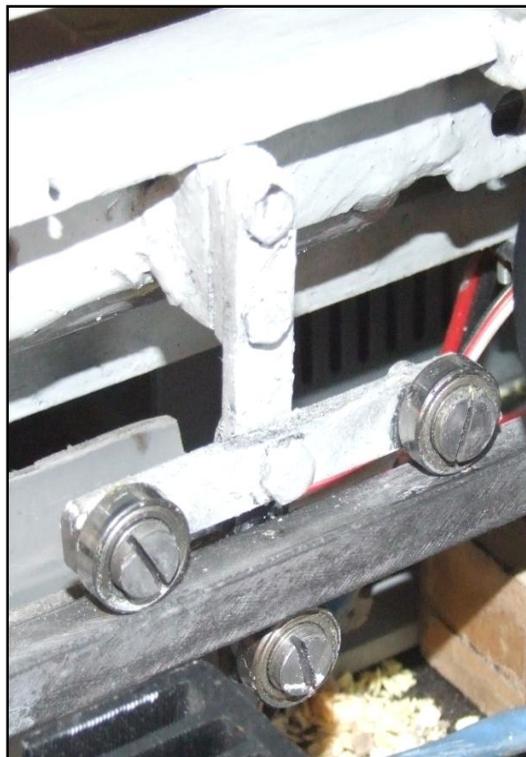


Cornière permettant d'occulter le capteur opto du positionnement de l'origine.

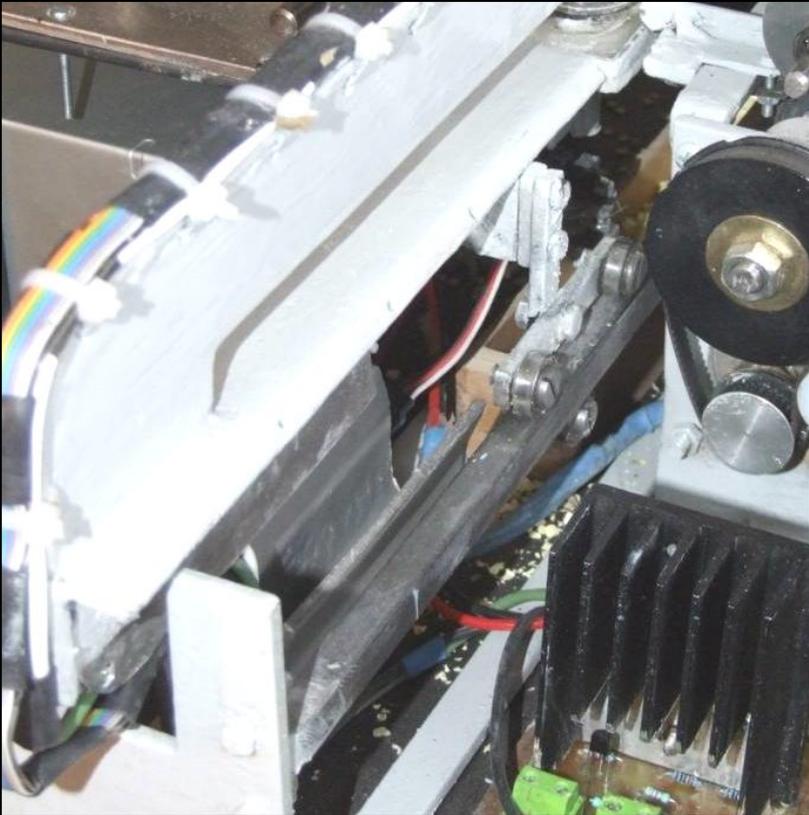
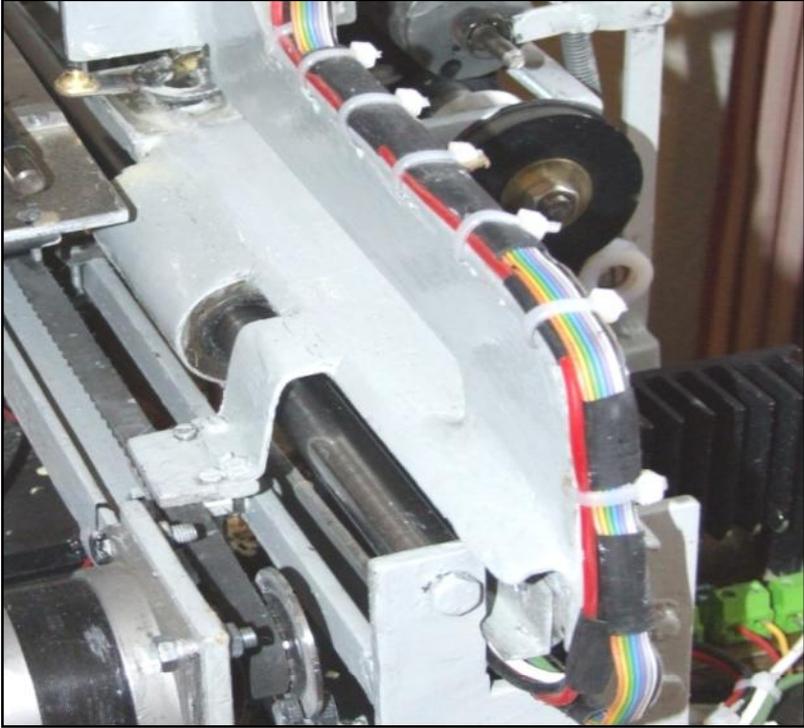
Le guidage est assuré par une double douille à bille solidaire de la platine porte tête. Elles glissent sur un barreau d'acier rectifié de Ø 18 mm



Un montage à trois roulements à bille permet de maintenir la platine en position verticale sans perturber le guidage obtenu par les douilles à bille

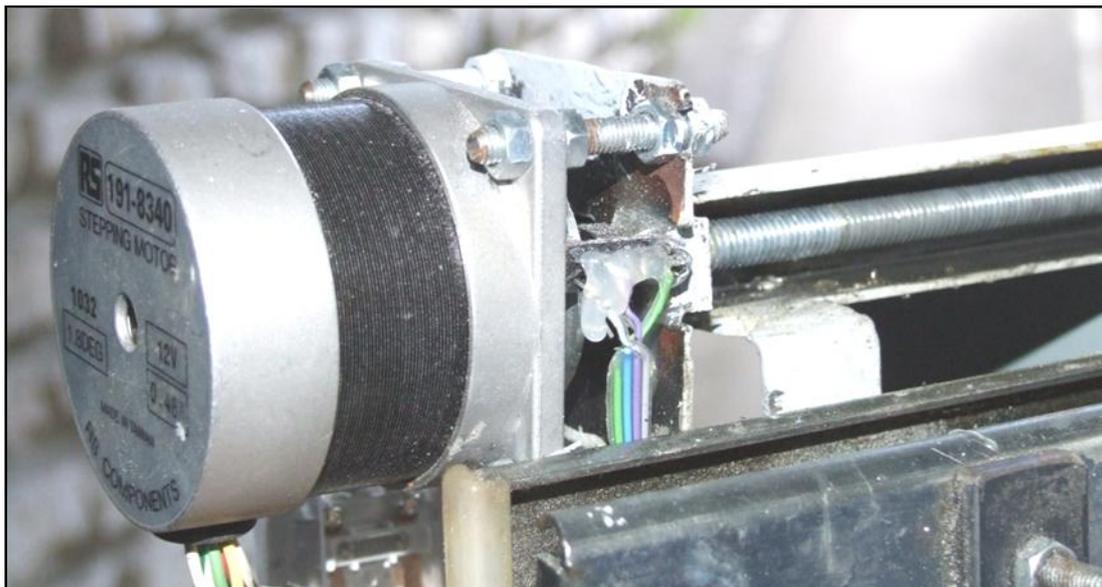
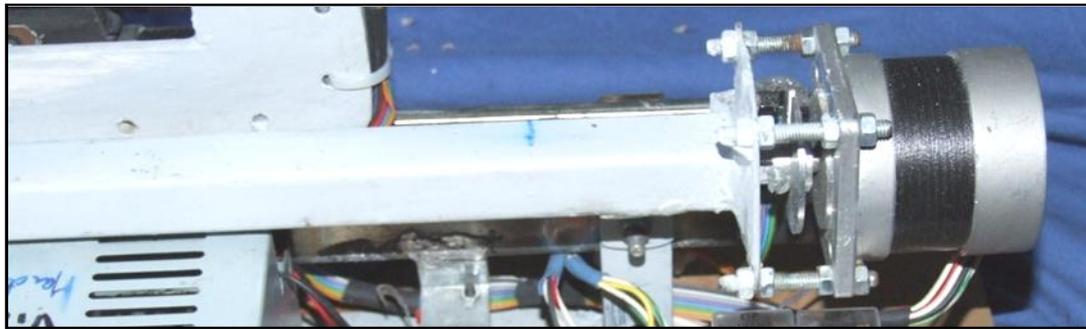


VUES DU DISPOSITIF DE GUIDAGE



SYSTEME DE TRANSLATION AXE DES X

Plusieurs systèmes ont été expérimentés, particulièrement un ensemble vis écrou, sur le plan cinétique c'est le meilleur système car le rapport nombre de pas moteur/ avance est favorable et permet une bien meilleure précision. Malheureusement étant donné le type de moteur pas à pas utilisé l'entraînement nécessitait l'obtention d'un couple légèrement supérieur à celui délivré par le moteur. Ceci étant du à la présence d'un écrou à rattrapage de jeu qui freine la vis. D'où des pertes de pas fréquents en cours de fonctionnement.



L'idéal serait l'emploi d'un vérin muni d'une "vis à bille", hélas le cout d'une t'elle vis s'est avéré hors de portée d'un amateur.

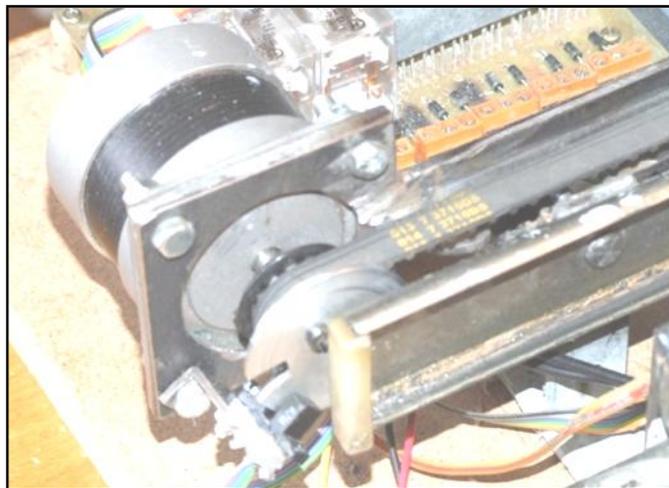
Finalement le système retenu à été celui employé par bon nombre d'amateurs: une courroie dentée entrainée directement sur l'axe du moteur par une poulie dentée de même module.

Le modèle retenu est

Courroie dentée 220 XL 0.25 pas 5.08

Poulie pour courroie dentée P 14 XL 037

Fournisseur PRUD'HOMME info@prudhomme-trans.com



Sur la poulie dentée on remarque positionné le disque du capteur tournant.

L'ensemble est monté sur un châssis en tôle d'acier et cornière assurant une excellente rigidité. Le chariot porte tête est directement entrainé par la courroie à laquelle il est relié mécaniquement.

C'est de loin le système d'entrainement qui nous a donné la meilleure satisfaction.

CARACTERISTIQUES DU MOTEUR

Moteur pas à pas de type hybride

Angle de pas 1.8° 200 pas par tour moteur

Couple de maintien 497 mNm

Courant nominal par phase 0.48 ampères

Type normalisé NEMA 23

Ø arbre 6.35 mm

Tension de service 12 volts CC

Nombre de fils 8

Résistance 25Ω Inductance 33 mH

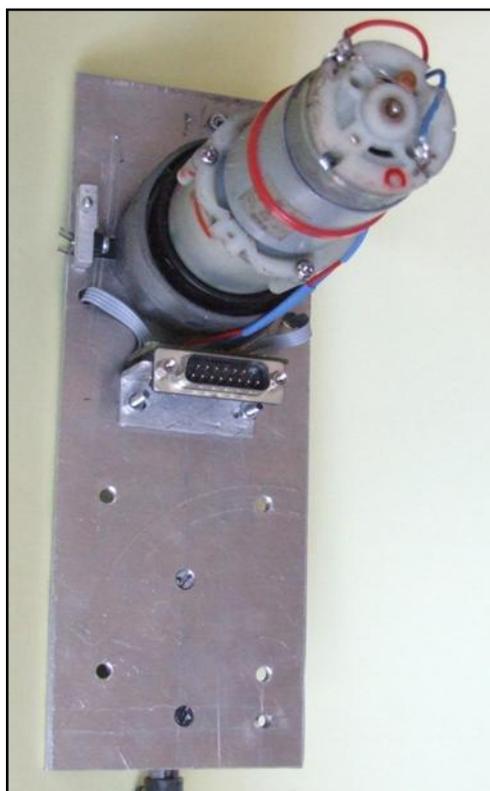
Référence RADIOSPARES 191-8340



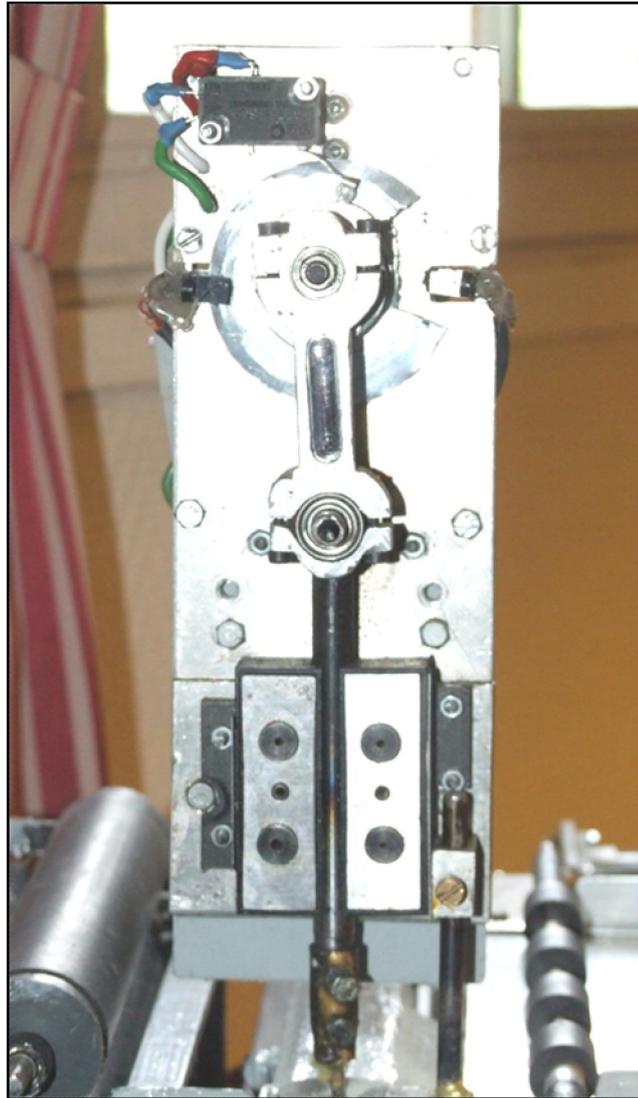
LA TETE DE PERFORATION

La tête de perforation est conçue de façon à être démontable du chariot de translation. Elle est entièrement autonome de façon à être très facilement réparable ou modifiable en cas d'incident ou encore de changer rapidement et facilement le poinçon.

Il suffit de débrocher le connecteur SUB 15 et le connecteur type AMP 2X2 puis de dévisser les quatre écrous de fixation pour rendre la tête autonome.



Vue arriéré de la tête avec le connecteur SUB 15

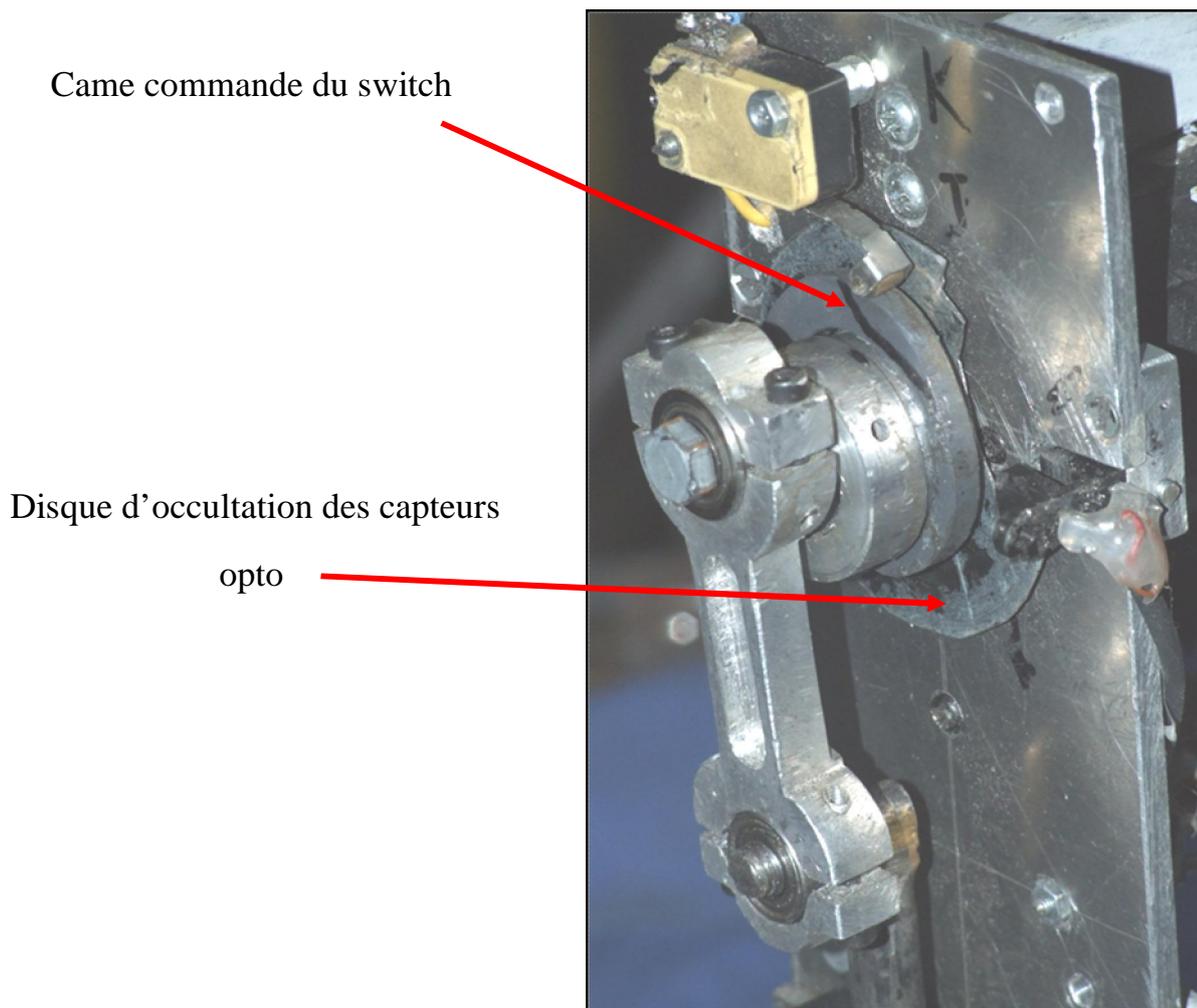


Tête vue coté équipement bielle manivelle.

Le motoréducteur est une récupération de visseuse portable. Il est prévu pour une alimentation en 12 volts DC.

Sur son axe de sortie sont fixés le porte bielle ainsi qu'un disque occultant les capteurs optocoupleurs à fenêtre détectant la position du poinçon. On remarquera également la présence d'une came actionnant le switch inséré dans la commande moteur (voir chapitre électronique).

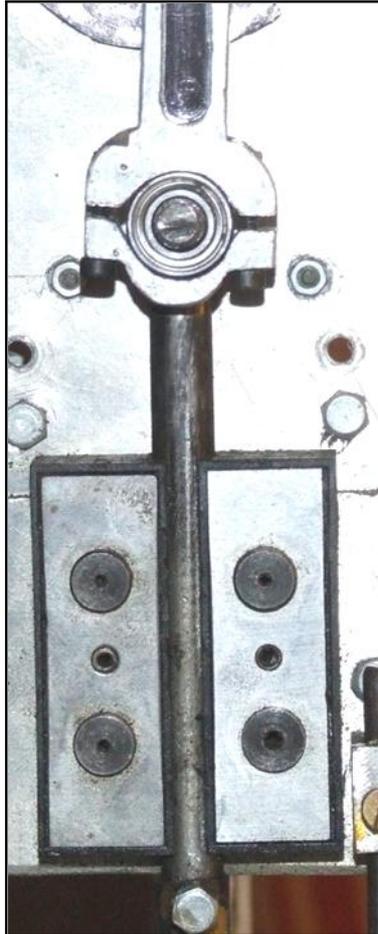
Le porte bielle est directement vissé sur l'axe du réducteur : pas 3/8 de pouce et vis de blocage pas à gauche. La bielle commande directement le poinçon.



La came actionne le switch "d'arrêt de frein". Le disque d'occultation et la came peuvent se régler angulairement individuellement. Les deux détecteurs de poinçon haut et bas sont fixés directement sur la platine support.

Le dispositif de commande du poinçon est une bielle montée sur roulements à bille.

La tige porte poinçon est guidée par deux glissières à bille pour tiges rondes de \varnothing 10 mm. Aucun jeu ne doit être toléré. Les glissières sont de récupération et de marque ISEL.



L'ensemble est fixé sur une platine en aluminium de 5 mm d'épaisseur dimensions 80 X 200mm

LE POINÇON

La fabrication du poinçon peut paraître spécieuse: en effet elle doit répondre à deux critères:

Ajustement parfait entre le poinçon et la matrice

Alignement parfait entre les deux éléments.

Le poinçon et la matrice sont fabriqués en acier **XC 43** barres de 3 X 3 mm (acier à outils approvisionné chez TARTAIX rue du Pont aux choux Paris).

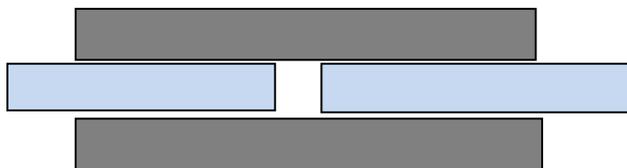
Fixation

Le poinçon est fixé par brasage sur un tube fer de \varnothing intérieur égal à la tige porte poinçon.



LA MATRICE

Il s'agit d'un assemblage de quatre morceaux de barreau 3 X 3 mm



Vue de dessus.

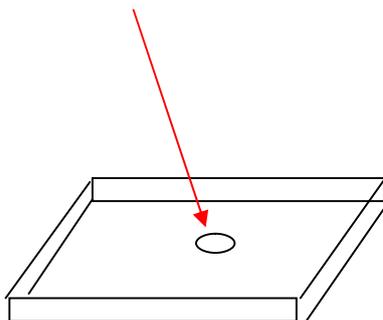
Le tout est brasé sur une rondelle en acier.



MONTAGE SUR LAPERFORATRICE

Sur le chariot on aura préalablement fixé une petite cuvette en tôle de 2 à 3mm de profondeur et de 30 X 40 environ

Trou de dégagement des confettis

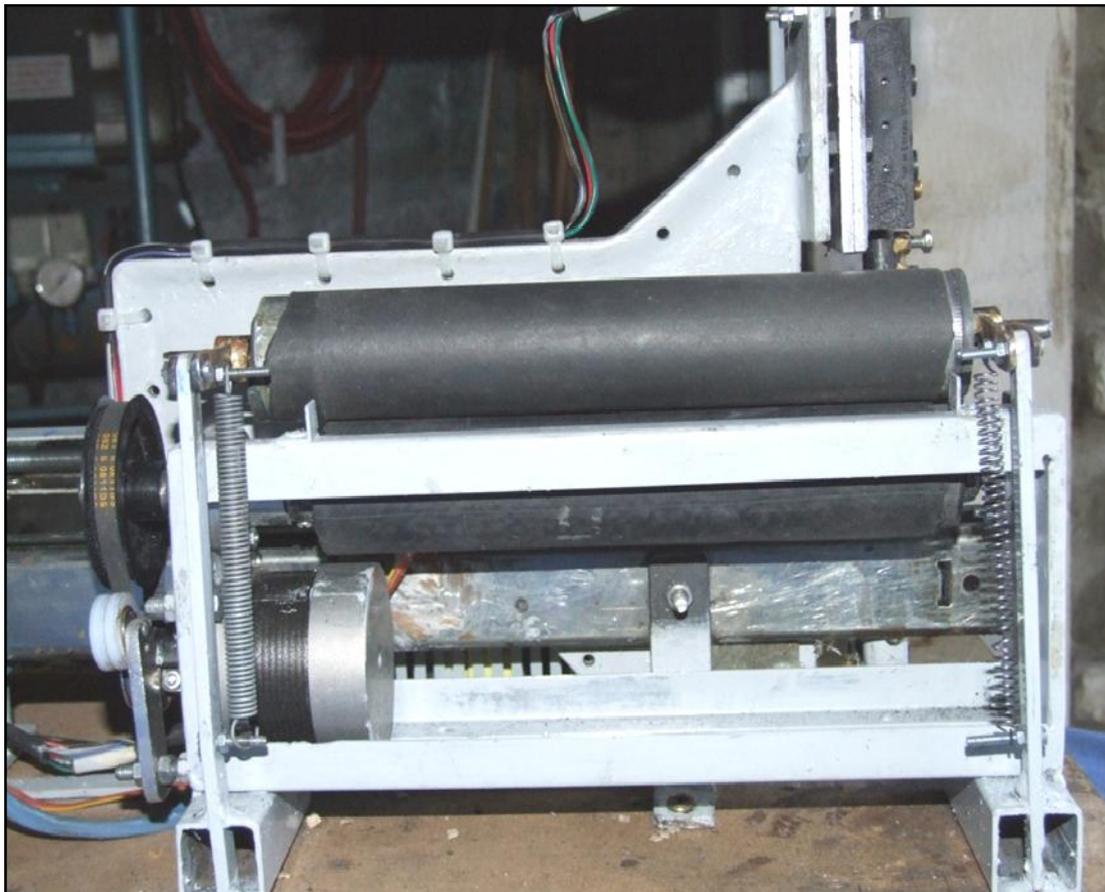


On positionnera dans cette cuvette la matrice et en faisant tourner manuellement le moteur on introduira le poinçon dans le trou carré. Il ne reste plus qu'à couler la résine EPOXY dans la cuvette pour immobiliser la matrice . Le temps de séchage est de 72 heures environ



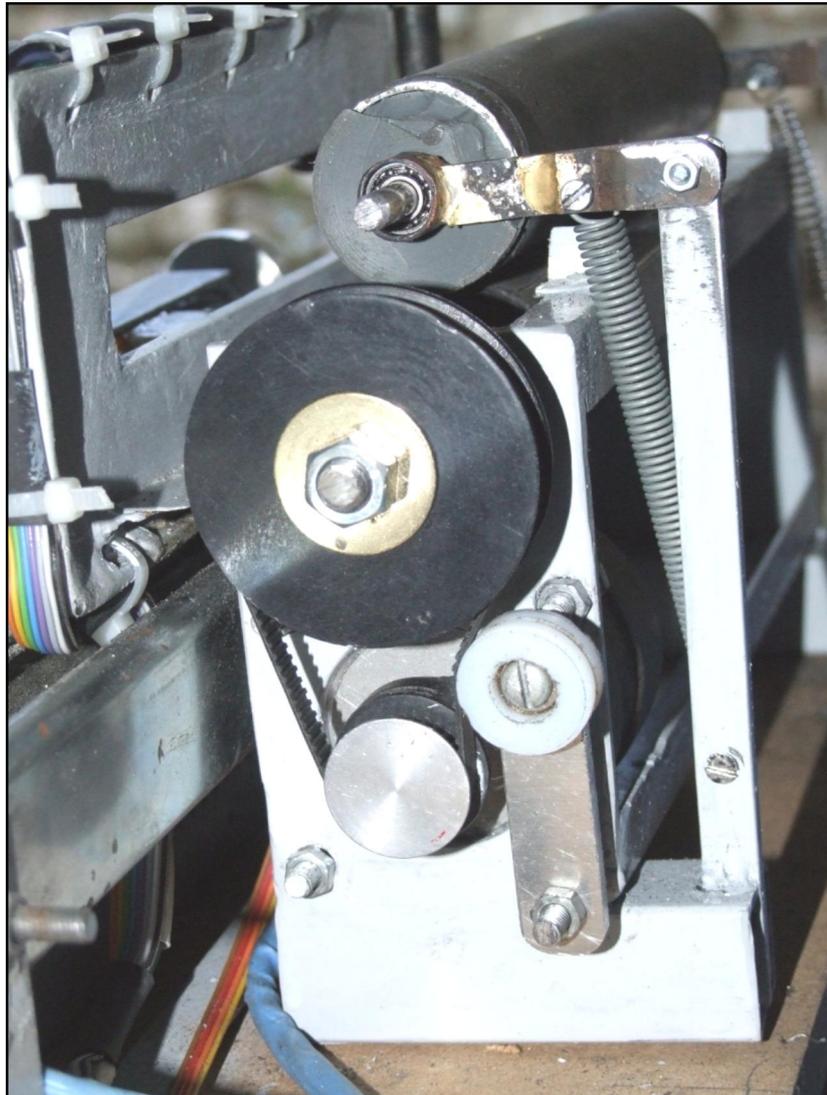
MECANISME DE TRANSLATION AXE DES Y

Ce mécanisme consiste à entraîner le carton à perforer dans le sens longitudinal en le faisant passer entre deux rouleaux de caoutchouc. Le rouleau inférieur est mis en mouvement au moyen d'un mécanisme entraîné par un moteur pas à pas.



Le mécanisme en place sur la perforatrice

Le moteur pas à pas est identique à celui du vérin de commande du chariot porte tête de perforation.



Le moteur entraîne le rouleau au moyen d'une courroie dentée de type MXL 0.25 et de poulies pour courroies dentées an lexan

Le rapport de réduction est de $\frac{1}{4}$, cela permet d'obtenir une meilleure précision dans le déplacement longitudinal du carton.

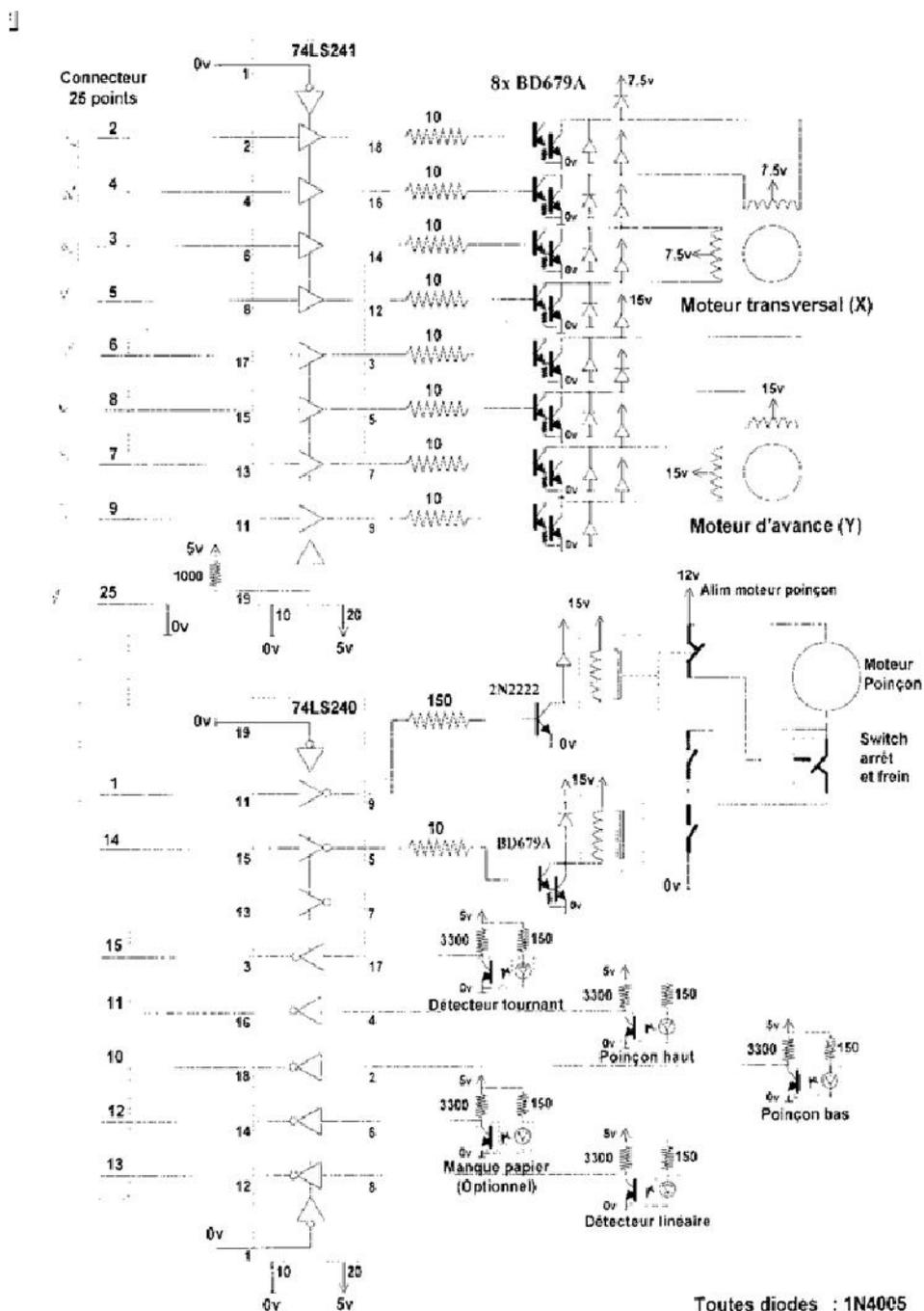
Le rouleau presseur est muni de ressorts afin d'assurer un avec le carton contact suffisant à son entraînement.

L'ensemble est monté sur roulements à bille

L'ELECTRONIQUE DE COMMANDE

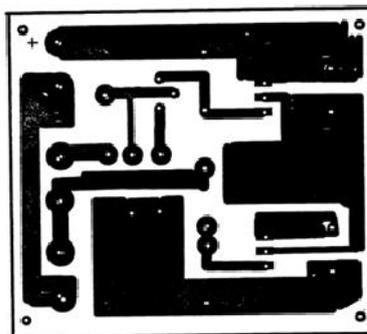
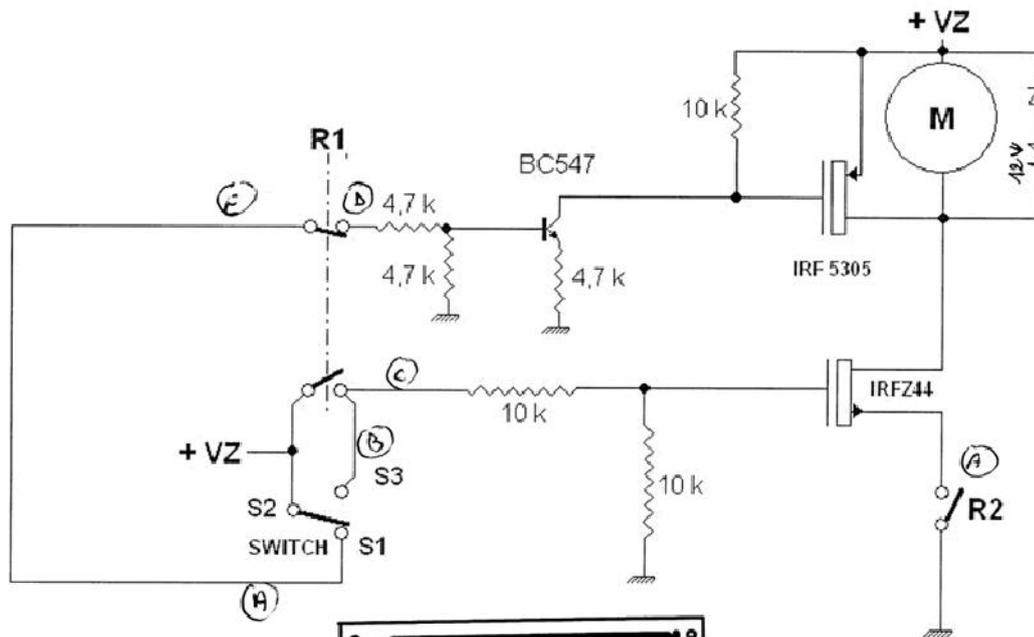
Il s'agit de l'interface mise au point par Monsieur P. Penard sans aucune modification. En effet elle fonctionne parfaitement. On trouvera simplement le schéma tel qu'il figure sur son site:

<http://orgue-de-barbarie.pagesperso-orange.fr/telecharger.htm>

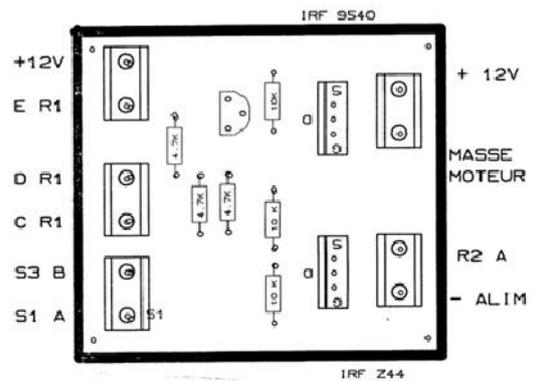
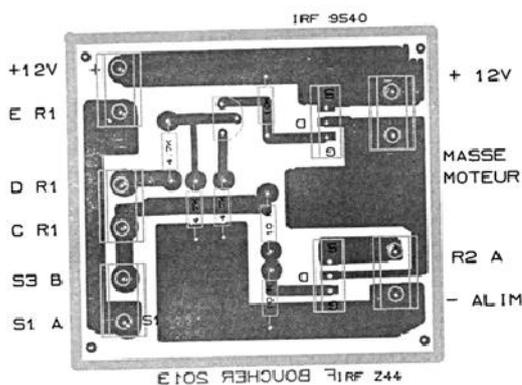


A cela il a été ajouté le montage préconisé par Jean Claude Augiron

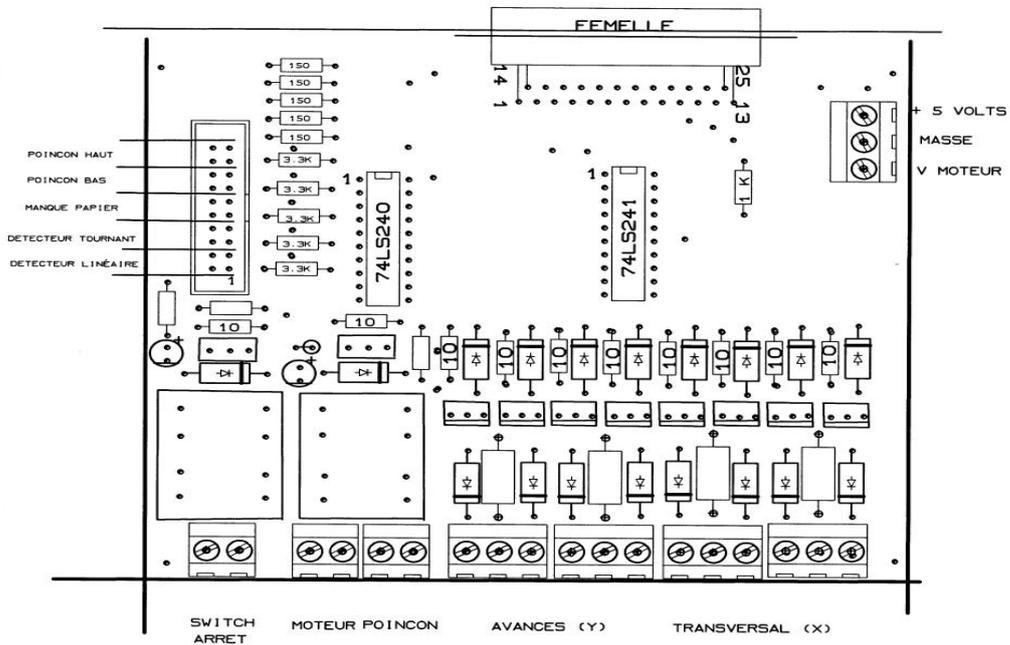
<http://perso.neuf.fr/grand%20shema%20mosfet.JPG>



F. BOUCHER S013

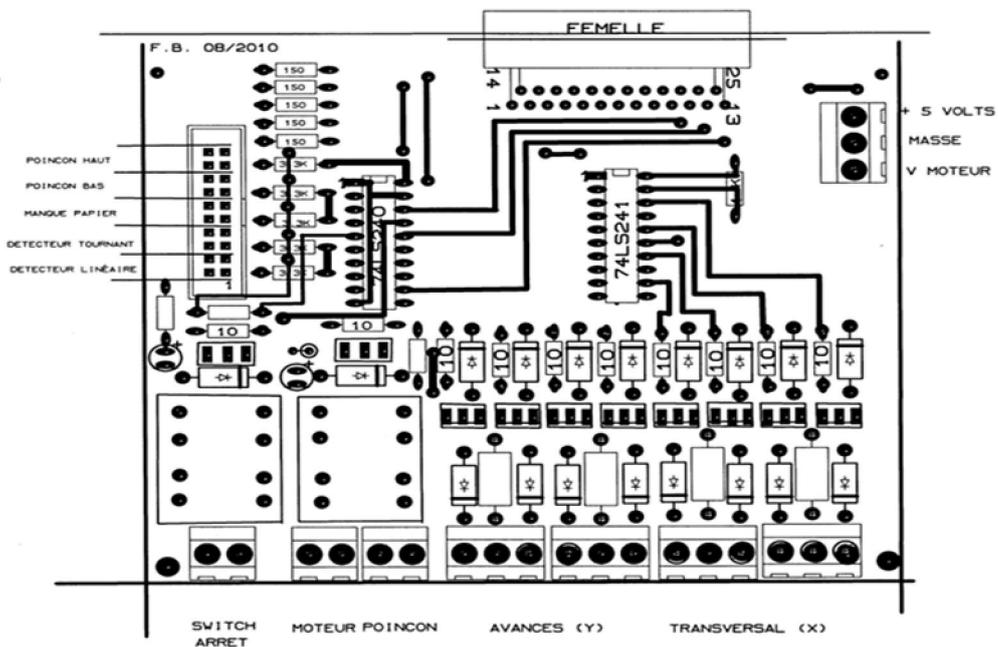


SERIGRAPHIE DU CIRCUIT

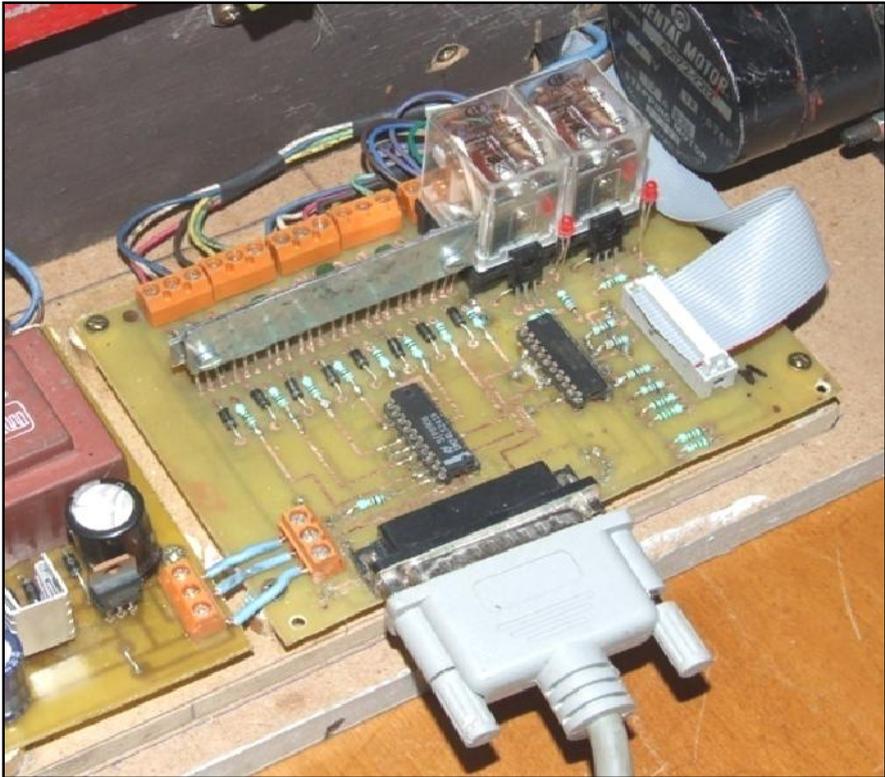
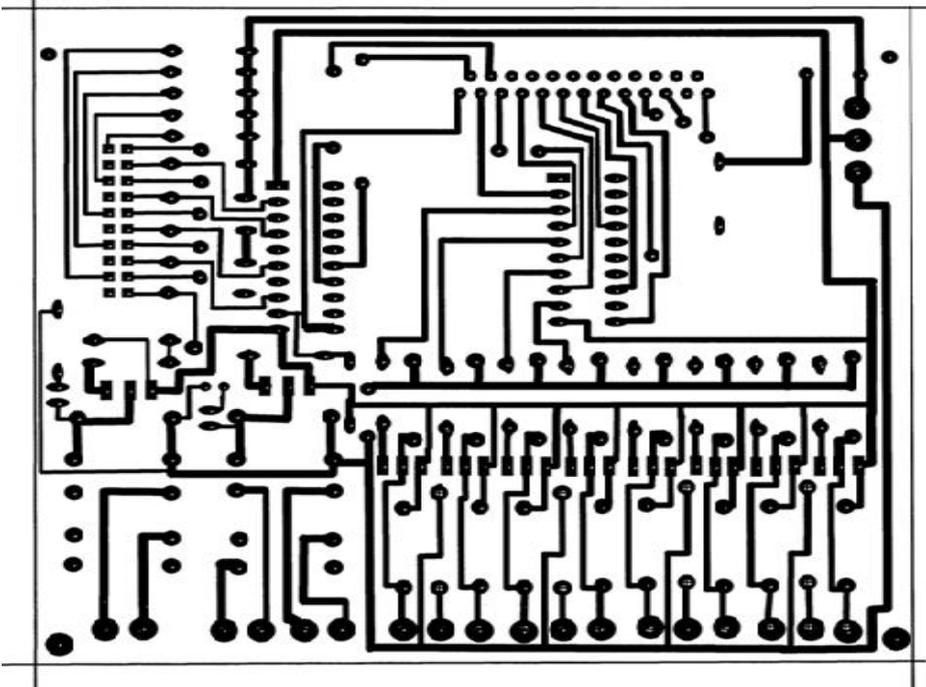


ATTENTION BOBINES RELAIS = TENSION MOTEURS

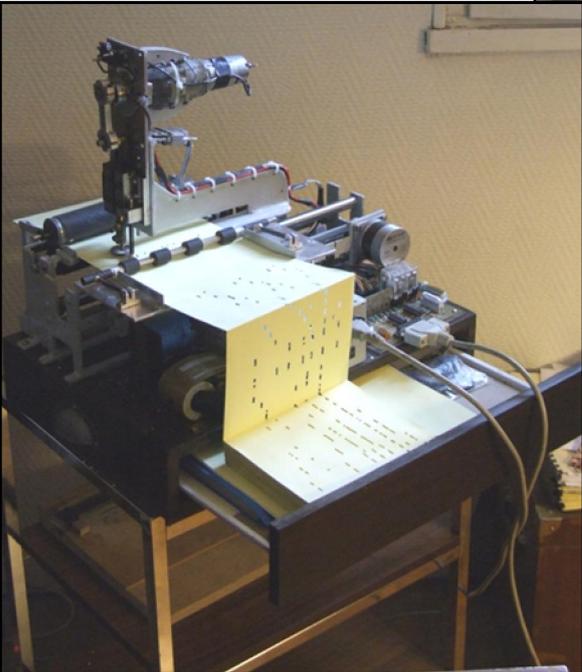
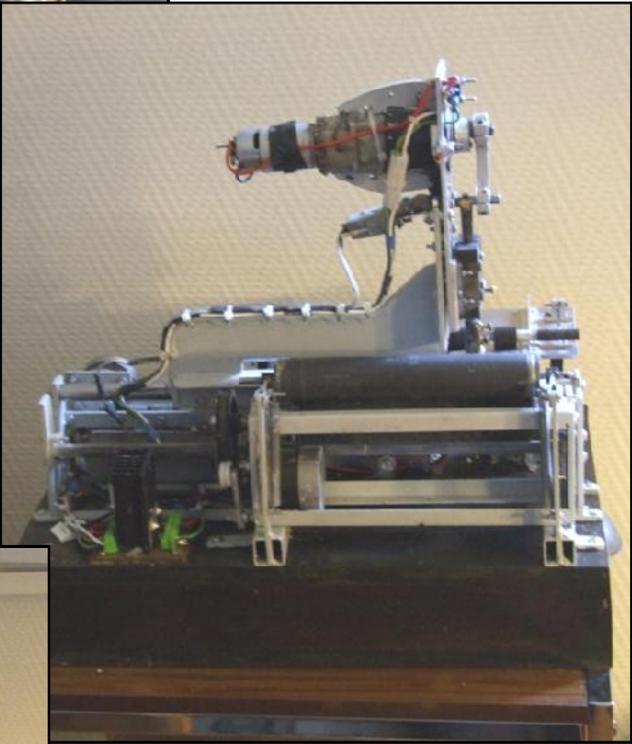
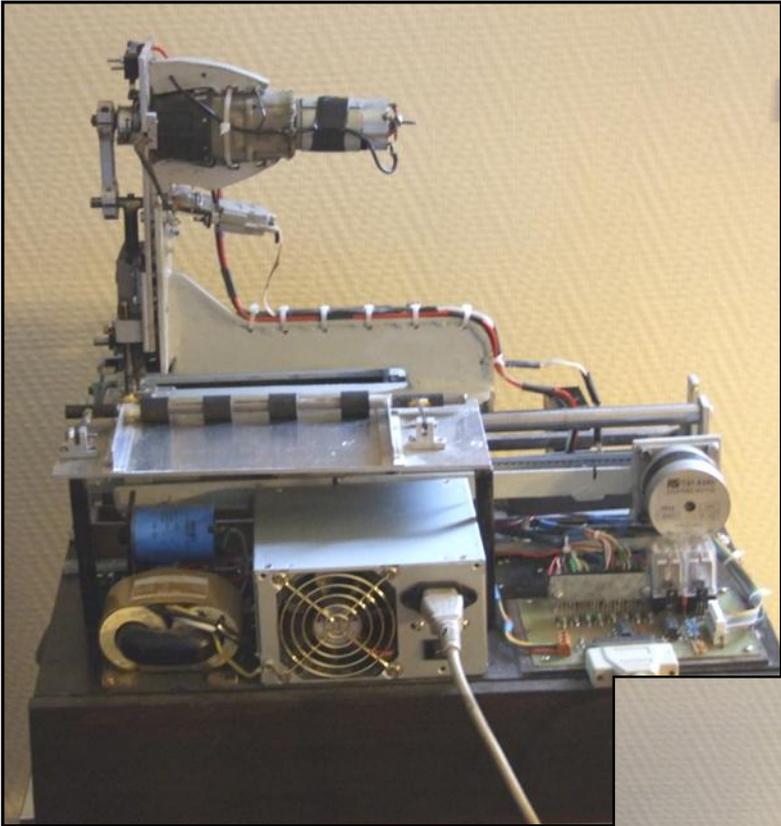
COTE COMPOSANTS ET SERIGRAPHIE



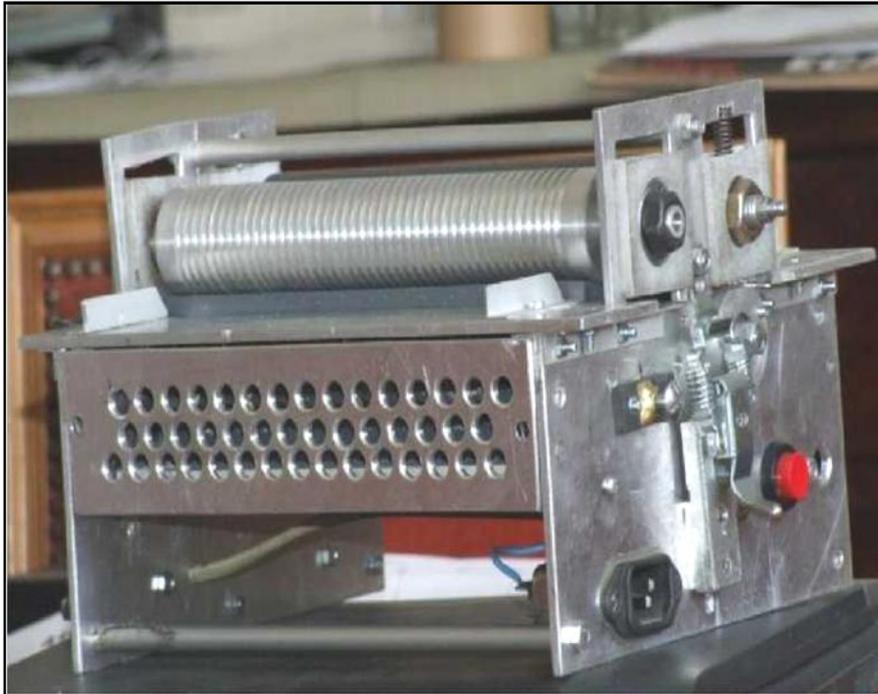
CIRCUIT IMPRIME COTE SOUDURES



Quelques vues de la perforatrice



FLUTE DE PAN ET SON MECANISME



Lors de la fabrication d'un orgue de barbarie la flûte de pan et son mécanisme sont certainement les pièces les plus difficiles à réaliser. En effet de la précision des usinages dépend la réussite.

Il est indispensable de posséder un tour et une fraiseuse si possible munis d'un dispositif de contrôle numérique.

Dans les propos qui suivent nous allons procéder à la description des différents ensembles que constitue la flûte de pan.

CAHIER DES CHARGES

L'ensemble mis à part la flûte et les rouleaux sera réalisé entièrement en alliage d'aluminium, tous les paliers seront montés sur roulements à bille.

L'ensemble sera actionné par un moteur électrique asynchrone monophasé. Un dispositif électronique permettra d'en faire varier la vitesse afin d'adapter le défilement à 360 cm/minute ou de faire varier le tempo.

LA FLUTE DE PAN

Les matériaux :

Pour fabriquer la flûte de pan il est indispensable de bien choisir son matériaux, nous allons passer en revue les différentes options avec leurs avantages et inconvénients.

1) METAUX :

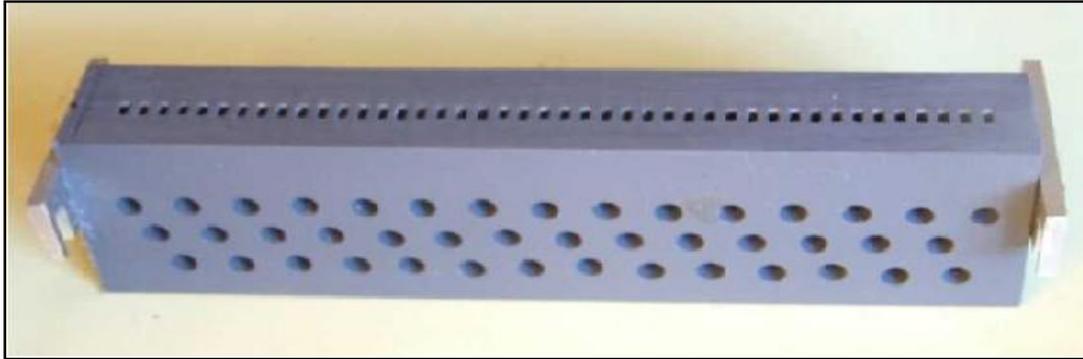
L'aluminium ou un de ses alliages présente l'avantage d'être mécaniquement très résistant, en effet le carton étant abrasif un usage intensif peut amener une usure prématurée de la surface de contact. Par contre l'usinage est très délicat il faut utiliser une fraiseuse à grande vitesse et si possible arroser au moyen d'un fluide de coupe approprié.

PLASTIQUES

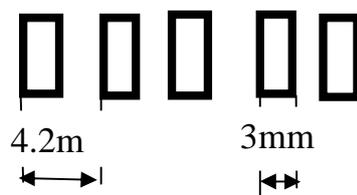
différentes sortes de plastiques sont utilisables la liste n'étant pas exhaustive :

- 1) **CORIAN ou MEGANITE:** résine acrylique (Polyméthyle Methacrylate additionné de Trihydrate d'alumine).
Ce matériau est principalement utilisé pour la confection des plans de cuisine. Il s'usine très facilement et sa structure hétérogène permet un collage facile.
- 2) **DELRIN** (poly acétal normalisé POM) se travaille très bien par contre est difficile pour ne pas dire impossible à coller.
- 3) **CHLORURE DE POLYVINYLE ou PVC**
relativement fragile se travaille très bien et permet un collage très facile.
- 4) **TEFLON** (Polytetrafluoroéthylène ou PTFE) permet d'obtenir un excellent coefficient de frottement avec le carton par contre il est pratiquement impossible de le coller.
- 5) **PE HD** (Polyéthylène haute densité) s'usine très bien par contre se colle difficilement. Nous l'avons utilisé pour la fabrication de la mise au point des vannes.

SOLUTION RETENUE



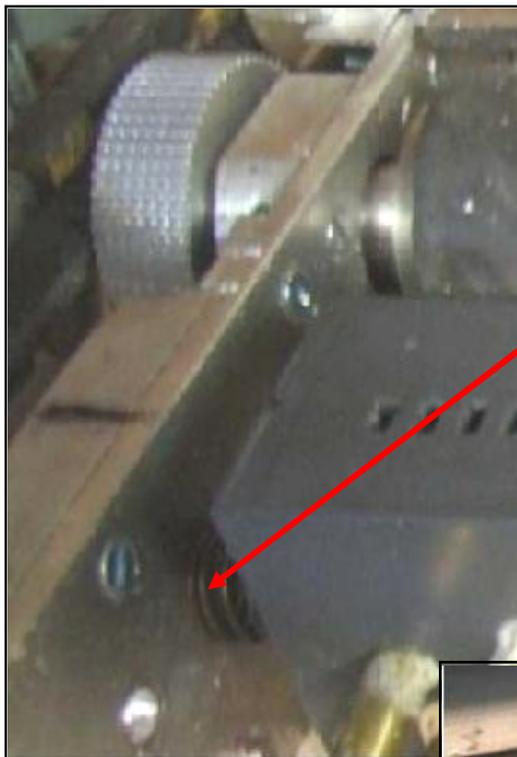
La flute comporte 42 + 1 trous. Nous avons opté pour cette configuration afin d'éventuellement commander un accessoire tel que percussion ou cymbale. L'entre axe des trous est de 4.2mm ce qui est la norme retenue. Les trous ont pour dimension 2.8 X 3 mm.



L'usinage s'est effectué à la fraise, le déplacement du plateau étant contrôlé grâce à une règle numérique.

Pour le collage nous avons adopté la méthode proposée par Mr. SOULE, mise en place de mèches dans les rainures ce qui permet après séchage de la colle de ne pas avoir de coupures qui risquent d'obstruer la flûte. La colle est de type « spéciale PVC ».

Pour la fixation de la flûte sur l'ensemble du mécanisme nous avons opté pour un système permettant un déplacement longitudinal de cette dernière, ceci afin de faire coïncider le plus parfaitement possible l'entre-axe des cartons et la position des rainures.



Ressort de positionnement

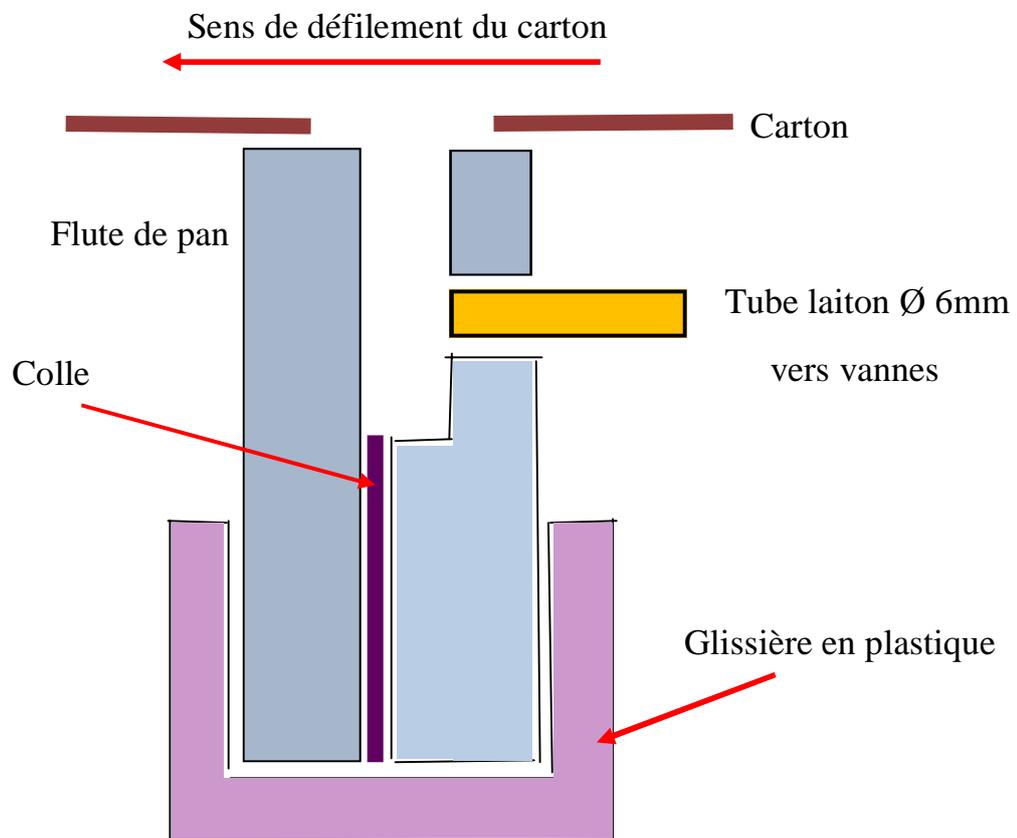


Support de vis de réglage longitudinal



Les sorties se font sur des tubes en laiton de \varnothing 6 mm

La flute est simplement posée sur un support en U afin de pouvoir procéder à un réglage longitudinal de façon à s'adapter parfaitement au talon des cartons.

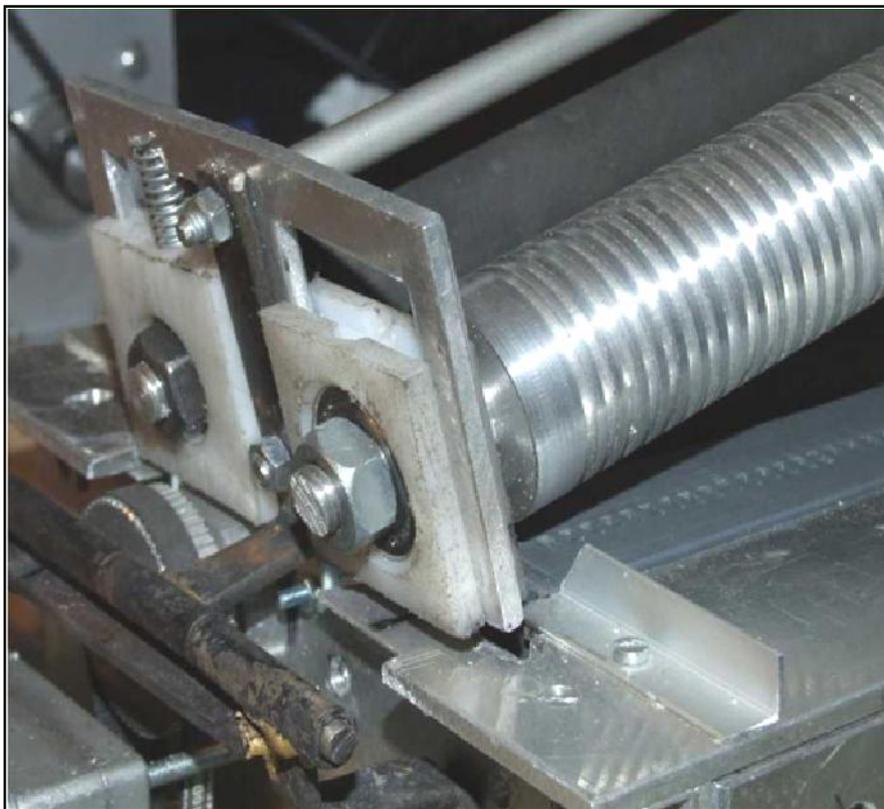


LE SYSTEME D'ENTRAINEMENT

Le système d'entraînement du carton est constitué par deux tubes en acier de \varnothing 30mm revêtus de caoutchouc. Deux épaisseurs de chambre à air de vélo conviennent parfaitement.



Le rouleau presseur et le rouleau d'entraînement sont montés sur un équipement munis d'une charnière afin de permettre la mise en place du carton.



La vitesse de défilement du carton est fixée de façon normalisée à 60mm/seconde.

Le diamètre du rouleau « moteur » est de 38mm soit une circonférence de 119.32 mm. La vitesse de rotation sera donc de 0.5 tours seconde soit 30 tours /minute approximativement.

Le moteur d'entraînement

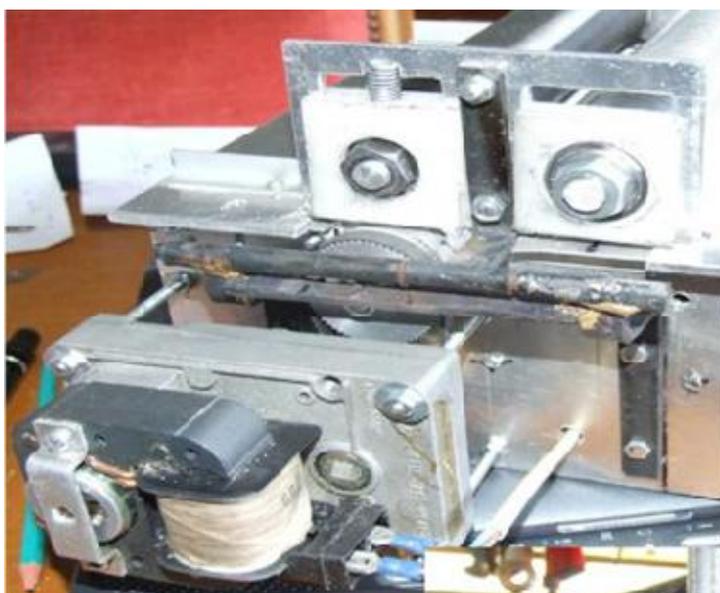
Il s'agit d'un moteur asynchrone monophasé de marque

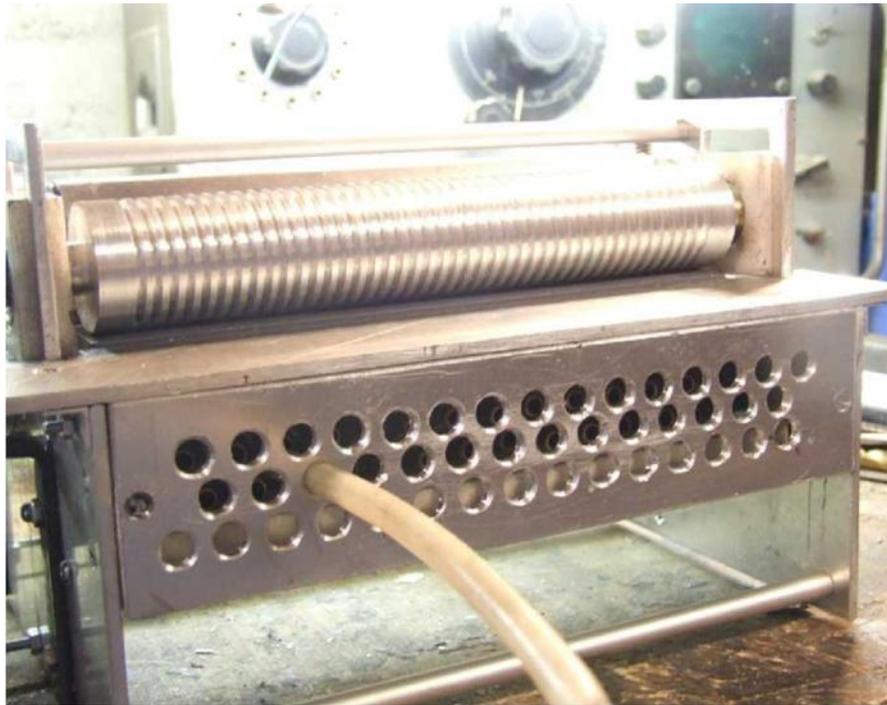
ELLETROVAGO. Ou BITRON

www.d-e-c-.com

Ce moteur est équipé d'un réducteur de rapport de réduction 1/50 ce qui donne une vitesse de 60 tours/ minute sur l'arbre des sortie.

Un jeu de poulies avec courroie crantés rapport 1/2 entraîne le rouleau moteur.





Un guide a été placé en sortie de la flûte de pan afin de positionner les tubes de liaison avec les vannes.

AMELIORATION DE LA FLUTE DE PAN

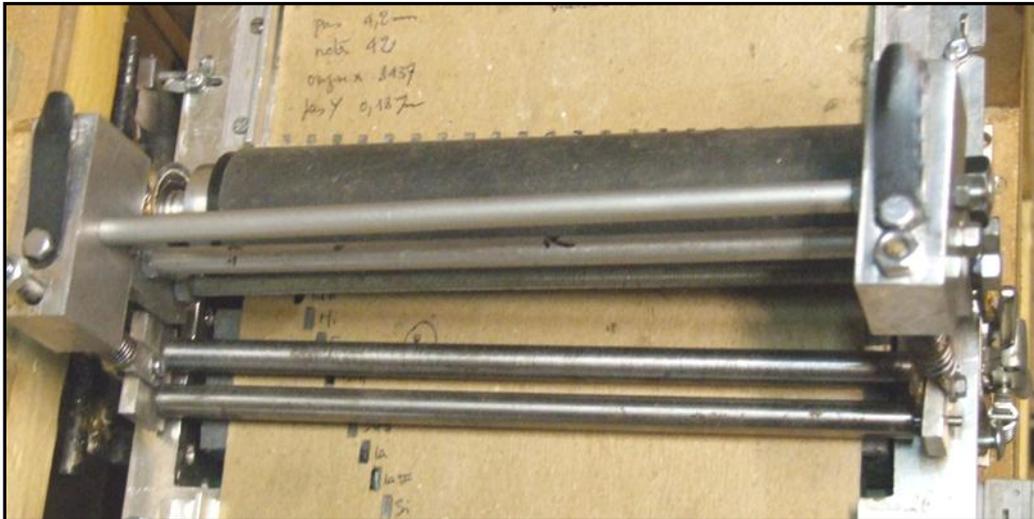
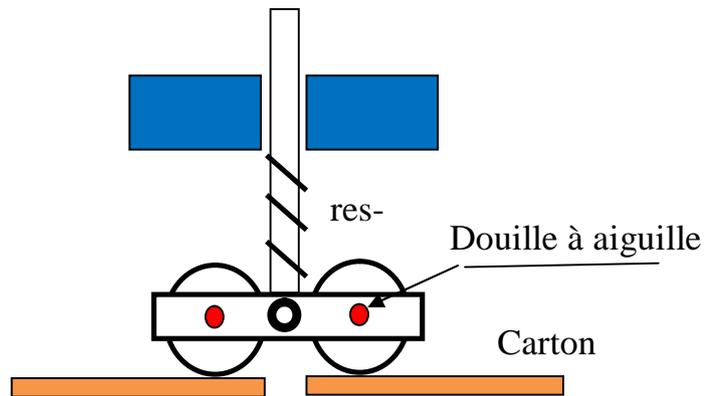


Le résultat obtenu n'étant pas à la convenance : pertes de charge trop importantes, effets de ce que l'on appelle "WAPS" etc...j'ai conçu un autre système permettant une meilleure étanchéité du carton contre la flûte de pan.

Ce système très simple consiste en deux rouleaux métalliques de \varnothing 8mm en stub. Ils sont maintenus en place grâce à des douilles à aiguilles de \varnothing intérieur 3mm (www.sorb-industries.com)



L'intérêt est en outre de pouvoir en permanence constater que les trous du cartons correspondent bien à ceux de la flûte de pan.



Les rouleaux sont montés sur un équipement qui permet dans tous les cas une adhésion parfaite au carton. Le ressort détermine la pression sur le carton.

Je suis bien persuadé que ce système à déjà été développé néanmoins je n'en ai pas trouvé trace dans mes recherches.

Il fonctionne parfaitement bien et est très facile à réaliser.

VANNES A MEMBRANES CONCENTRIQUES



AVANT PROPOS

La mise au point d'une vanne pour orgue de barbarie à membrane concentrique est plus délicat que cela ne peut paraître.

Dès le départ il a été fixé le cahier des charges suivant:

- Fabrication par moulage en résine polyester, époxy ou usinage de plastique
- Le moins de pièces possibles
- Pas de dispositif de réglage
- Fonctionnement sous pression mini de 60mm d'eau soit 0.006 bars environ
- Interchangeabilité totale sans démontage de l'orgue.

Bien naturellement il a été tenté de remplacer la membrane par un piston soigneusement ajusté et possédant des rainures de décompression.

L'échec fut complet.

A la réflexion, cela ne peut en aucun cas fonctionner car la pression de fonctionnement (60 à 150mm d'eau) n'est pas suffisante pour vaincre les frottements. Les ajustements nécessaires pour éviter les fuites d'air entre piston et chambres de distribution et de commande interdisent un fonctionnement correct.

Cela pourrait fonctionner si la pression de commande était largement supérieure à celle nécessaire pour faire « chanter les tuyaux », dans ce cas le piston serait rappelé par un ressort puissant. Se poserait alors l'étanchéité de la flûte de pan ?

Cela ne veut pas dire que du premier coup la bonne solution a été trouvée. De nombreux essais ont permis de finaliser une vanne simple, facile à fabriquer, parfaitement fiable et d'un coût modique.

LE PRINCIPE

La vanne se compose des pièces suivantes :

- Corps de vanne constitué en deux parties :
- Chambre comportant le clapet d'admission vers le tuyau
- Chambre de commande reliée à la flûte de pan
- La membrane
- Vis de fixation et tuyaux d'entrée d'air et de sortie vers la flûte de pan

On ne peut faire plus simple !

Les deux corps de vanne sont obtenus par moulage dans un moule en silicone.

Un jeu de vannes a été réalisé en Polyéthylène HD 500 de façon à optimiser le fonctionnement. Le résultat au niveau du fonctionnement a été identique, on peut sans problème fabriquer les vannes suivant les deux principes énoncés.

Pour les vannes moulées il a été employé de la résine Epoxy. La résine polyester étant plus "cassante", les perçages et lamages sont plus délicats à réaliser.

On trouvera ci-après les plans des deux éléments

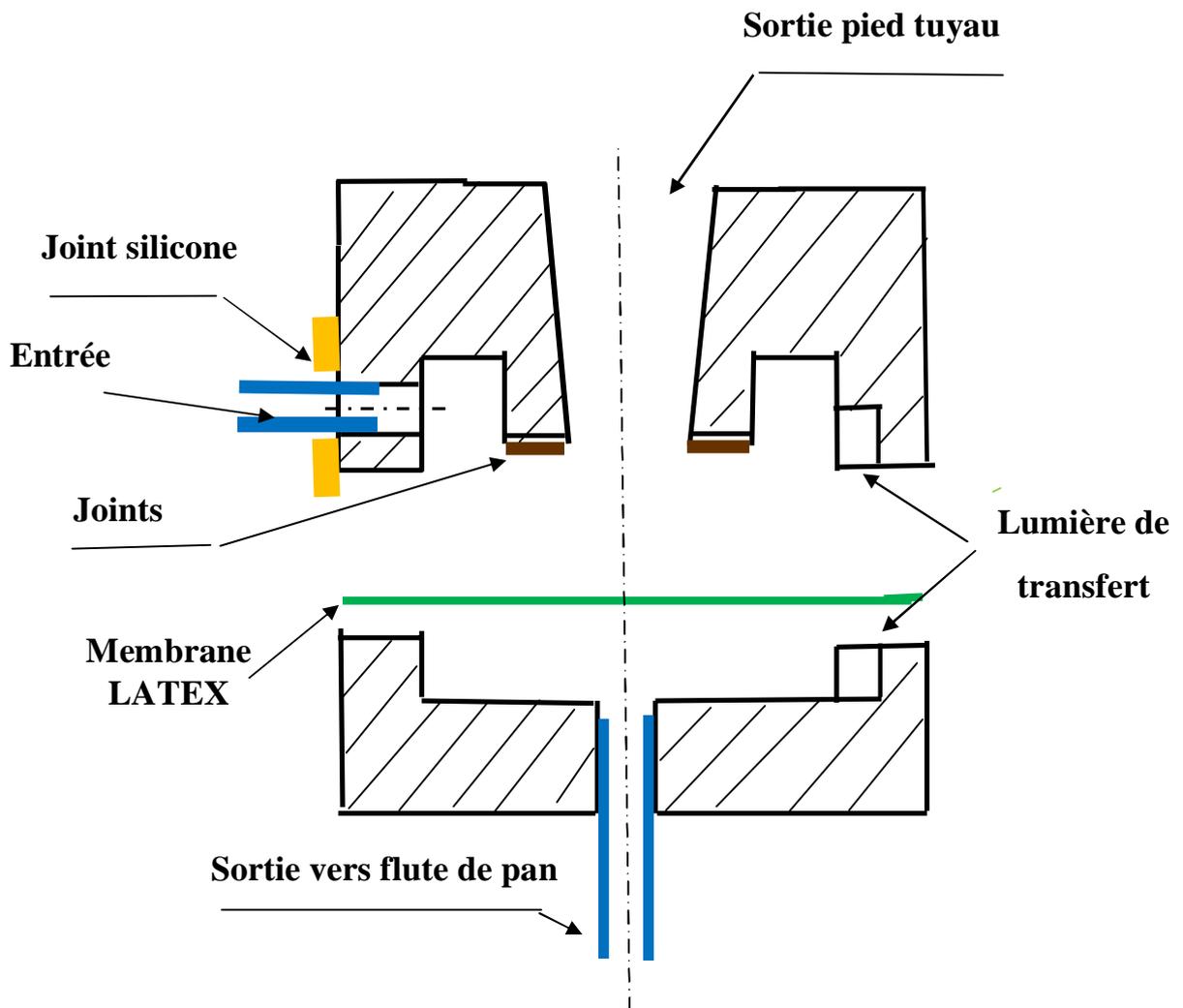
Pour les lumières de transfert entre les deux chambres, de nombreux essais à ce sujet ont été effectués, bien que leur dimension ne soit pas critique, dans le cas présent un diamètre de 2mm est la bonne mesure. En effet en dessous de cette valeur la vanne ne répond pas. Au dessus on assiste à des dysfonctionnements (oscillations du clapet en fonction de la surface de la lumière du pied du tuyau associé à la vanne) .

Sur les premiers essais une vis pointeau de Ø 3mm a été mise en place pour régler le transfert de l'air entre les deux cavités séparées par la membrane ; des essais de réglage sur le banc de contrôle (voir photographie en fin de plaquette) ont mis en évidence, avec ce type de vanne, le peu d'influence qu'elle a sur son fonctionnement. La vis de réglage a donc été supprimée.

Par contre l'élasticité de la membrane et le jeu à vide entre la membrane et le joint en cuir ont une influence prépondérante.

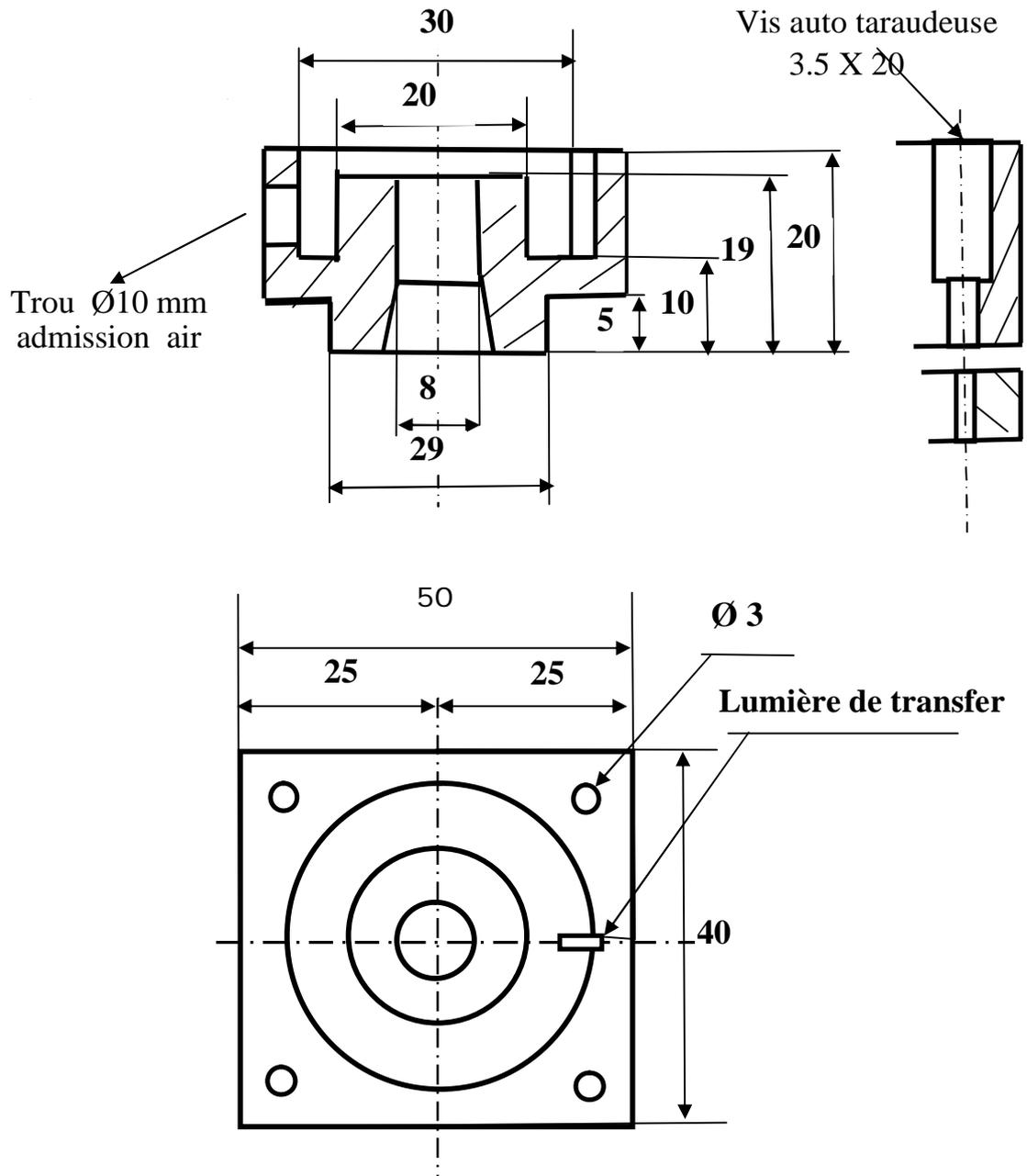
De toute façon il ne faut pas créer de perte de charge trop importante entre les deux chambres car cela a une grande importance sur la célérité avec laquelle la vanne doit répondre lors de la mise à l'air libre ou en pression de la chambre de commande

SHEMA DE PRINCIPE VANNE CONCENTRIQUE



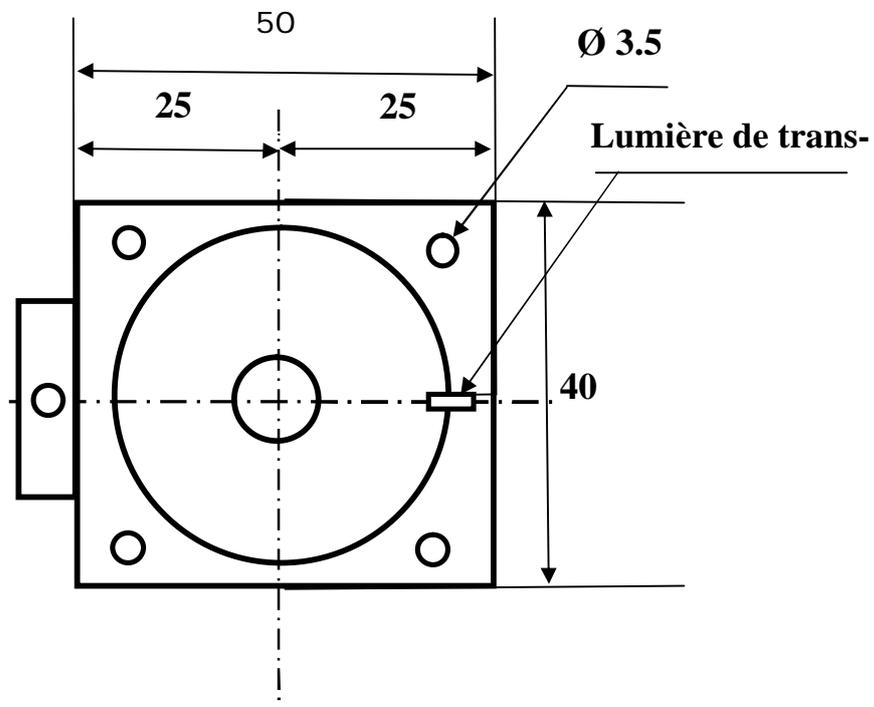
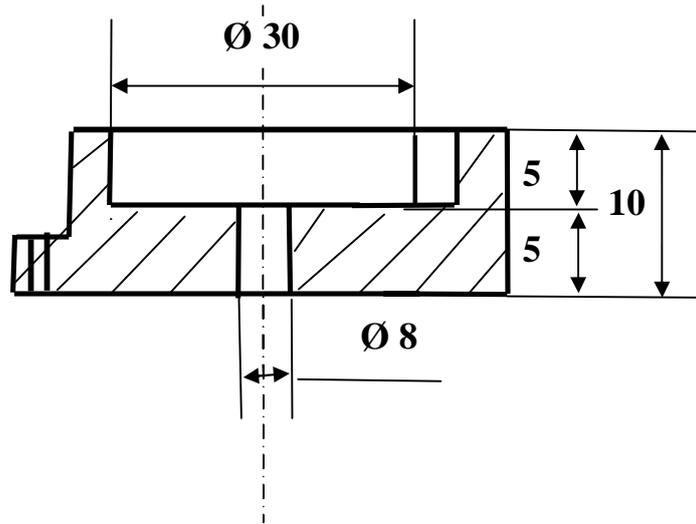
CORPS DE VANNE 1

Chambre d'admission



CORPS DE VANNE 2

Chambre de commande



FABRICATION DE LA MEMBRANE

La membrane est fabriquée en **LATEX** c'est le seul matériau compatible avec le service qui lui est demandé.

La fabrication se révèle quelque peu spéciale,



Le LATEX est préalablement dilué au moyen d'une solution à 20% d'ammoniaque dans l'eau ceci afin de le fluidifier et d'obtenir une membrane fine et régulière.

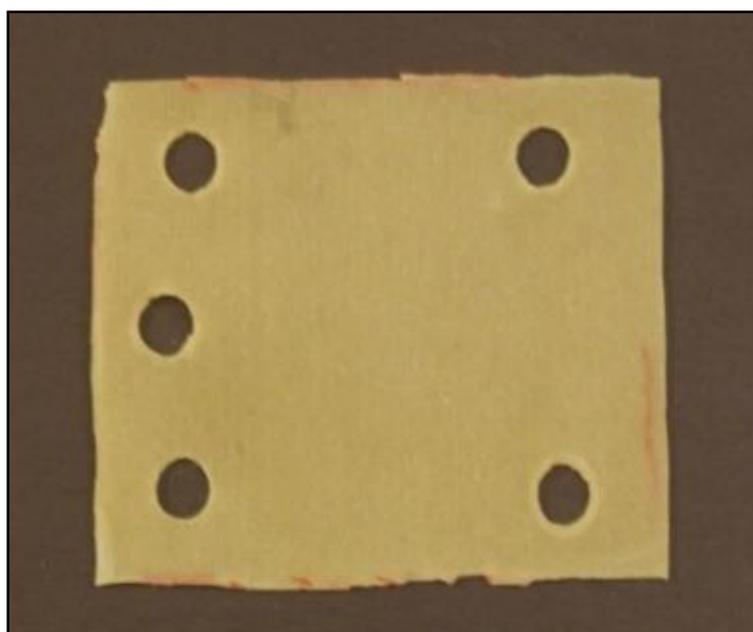
Sur une plaque genre mélamine ou PCV on étend une couche de LATEX. Dès que cette dernière est sèche, on applique une seconde couche puis une feuille de papier 80 ou 100gr environ dans laquelle on aura préalablement découpé à l'emporte pièce des trous de Ø 30mm. Important: ***cette feuille de papier est préalablement mouillée sur toute sa surface.*** On passera ensuite une dernière couche de Latex. La feuille est donc prise en sandwich par le latex.

Avant le démoulage ne pas oublier d'enduire de talc afin d'éviter au latex d'adhérer sur lui même.

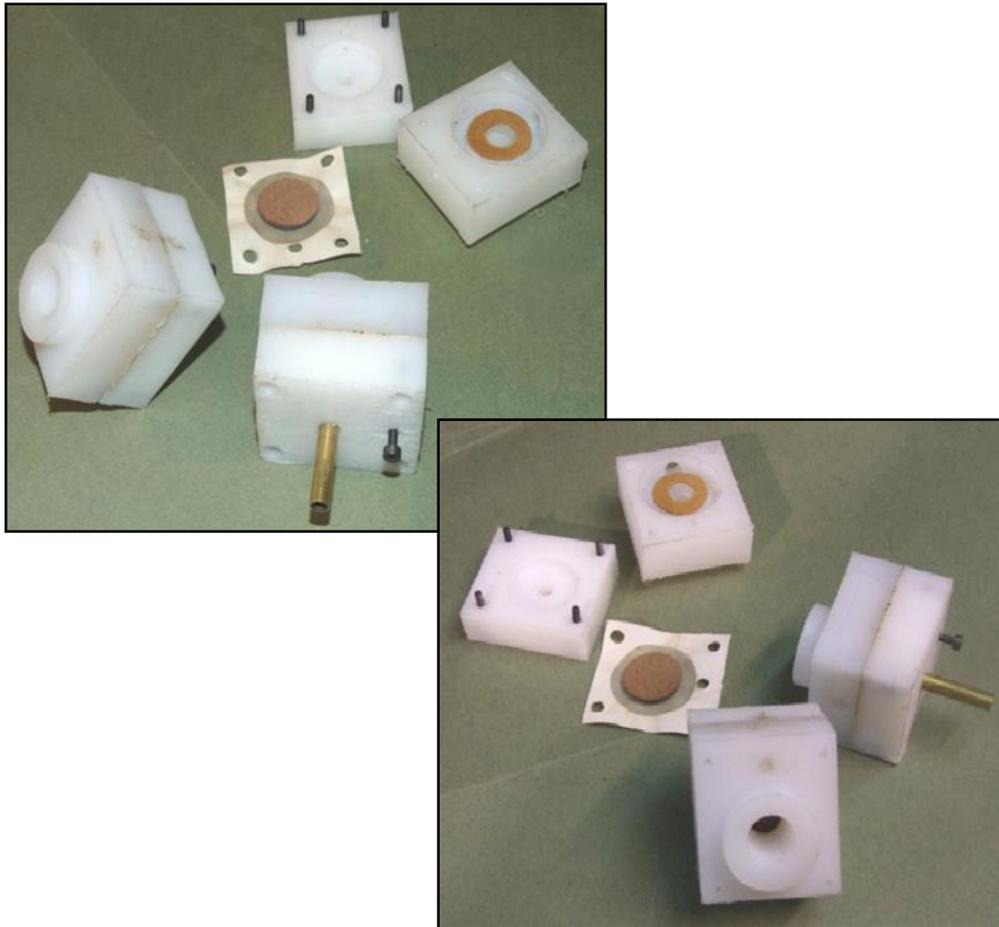
Après séchage on découpe à l'emporte pièce des trous de Ø 3mm pour le passage des vis de fixation des corps de vannes et de l'air au niveau des lumières de transfert.

Il a été également fabriqué des joints par découpe de film latex vendu en l'état et d'une épaisseur de 4/10 mm En tout dernier lieu le joint en cuir positionné sur la membrane a été supprimé, seul subsiste le joint collé sur le corps de vanne cela facilite la fabrication et fonctionne parfaitement. Il faut dans ce cas veiller à ce que la membrane au repos affleure le joint en cuir.

.



VANNES EN POLYETHYLENE HD 500



A partir des plans présentés en début de plaquette il a été réalisé un jeu complet de vannes en polyéthylène HD 500 dans le but d'optimiser la construction. En effet le polyéthylène HD 500 se prête mieux à l'usinage que la résine polyester qui est « cassante ».

Le seul problème du polyéthylène HD est qu'il se prête assez mal au collage. Néanmoins le joint en cuir se colle de façon satisfaisante avec une colle néoprène.

STATION D'ESSAI

La station d'essai fonctionne sous une pression de 80 à 150 mm d'eau. Voir chapitre dédié.



MOULAGE

La fabrication des vannes par moulage permet de réaliser à moindre coup et avec une parfaite reproductibilité les différentes pièces les composent.

La méthode employée est des plus classiques : l’empreinte est effectuée au moyen de résine silicone maintenue en place grâce à un second moule en plâtre.

En premier lieu, on usine les différentes parties de la vanne en plastique ou en métal en ménageant de légères dépouilles afin de faciliter le démoulage.



Les vannes obtenues par moulage sont confectionnées au moyen de résine époxy (bis phénol A). En effet cette dernière se prête beaucoup mieux au perçage des trous et son aspect transparent permet de voir si la membrane est correctement positionnée.

Cette résine époxy est vendue sous forme de deux composants que l'on doit mélanger dans la proportion de 100 parts de résine 50 parts de catalyseur.

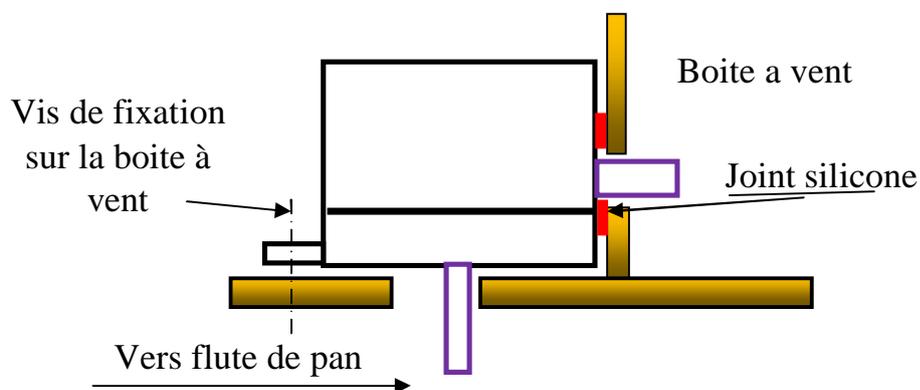
Le temps de gélification est de 8 heures environ à 18°C le temps de démoulage 24 heures.

Afin de faciliter le démoulage le moule en silicone sera enduit d'une fine couche de vaseline qui fera office de démoulant.

L'usinage des trous et le montage de la vanne se fera environ 48 heures après démoulage de façon à ce que les propriétés mécaniques des pièces soient optimales.

Les quatre vis de fixation seront serrées "à fond". On vérifiera l'étanchéité et le bon fonctionnement préalablement au montage sur l'orgue. Si une légère fuite est décelée au niveau du plan de joint une goutte de colle type néoprène réalise l'étanchéité

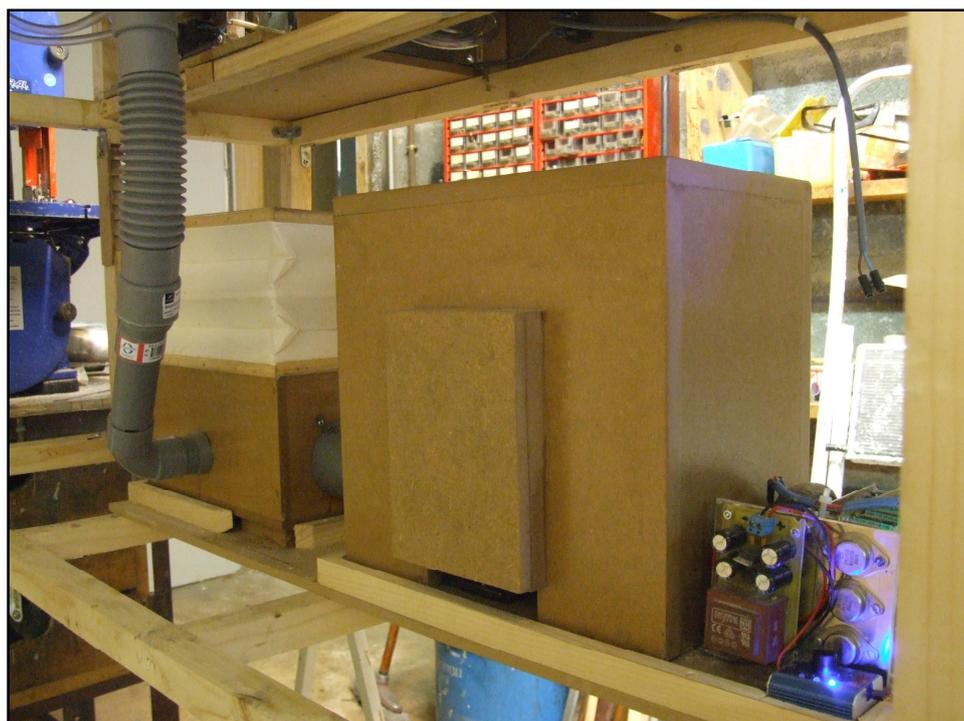
MONTAGE SUR L'ORGUE



Le montage sur l'orgue se fait par simple positionnement sur la boîte à vent. Une vis bois de 3 X15 permet la fixation .

Ce type de montage permet d'effectuer le remplacement d'une vanne défectueuse sans démontage de l'orgue.

SOUFFLERIE POUR ORGUES DE BARBARIE



AVANT PROPOS

Si on s'intéresse à l'histoire de l'orgue on s'aperçoit bien vite qu'elle est intimement liée à celle de la "production de vent" selon l'expression de DON BEDOS, en bref, à celle de la soufflerie.

L'ensemble de ces propos n'est pas de décrire les différentes étapes de l'ensemble des technologies successives utilisées au fil des temps. Néanmoins on peut résumer ainsi de façon chronologique cette histoire:

L'hydraule

système hydraulique utilisé par les romains: c'est l'ancêtre du "gazomètre".

Le soufflet sous ses différentes formes:

De simples sacs de peaux animales au début de Moyen âge
au soufflet cunéiforme, actionné manuellement, en action jusqu'à la fin du
19eme siècle.

Une mention spéciale sera néanmoins faite au système type Gavioli apparu au
début du 20°siècle équipant la majeure partie des orgues portatifs pneuma-
tiques appelés encore "orgues de barbarie"

Le ventilateur centrifuge

dont l'emploi est lié à la généralisation du moteur électrique,
synchrone puis asynchrone, utilisé majoritairement de nos jours.

Mon propos sera donc de mettre au service du néophyte mon expérience dans ce
domaine afin de lui éviter bien des déboires.

Successivement seront décrites:

- Une soufflerie classique basée sur l'emploi d'un ventilateur
centrifuge.
- Une soufflerie de type GAVIOLI
- La soufflerie J.HAMEL

LES INSTRUMENTS DE MESURE

Un appareil de mesure absolument indispensable pour la réalisation d'une soufflerie



Ce manomètre fixé à demeure sur l'orgue devra permettre de surveiller la bonne marche de la soufflerie.

Dans son ouvrage BOUASSE (Instruments à vent tome 1 page 343) note que la hauteur et le timbre d'un tuyau dépend du débit et de la pression de l'air dans le sommier. Il note en outre qu'il faut distinguer la pression dans le réservoir et la pression dans la chambre du tuyau. On peut jouer sur le rétrécissement de l'orifice du pied du tuyau mais ce rétrécissement gêne l'écoulement normal de l'air; il est préférable, note t'il, de modifier la pression dans le réservoir. D'ou l'importance de construire cet instrument de mesure

Il sera également fort utile de se munir d'un sonomètre afin de mesurer le niveau sonore de la réalisation.



CONSIDERATIONS SUR LES TURBINES

Les turbines sont généralement la source de problèmes liés au niveau sonore qu'elles génèrent.

La littérature explicitant ce genre de phénomènes n'est pas abondante. Néanmoins on pourra se référer à l'excellent ouvrage:

ACOUSTIQUE DES VENTILATEURS

A.GUEDEL

Cet ouvrage a le mérite d'être compréhensible par n'importe quel néophyte.

En effet il est essentiellement pratique et ne fait pas appel à de la formulation mathématique incompréhensible par le "commun des mortels" Malheureusement il n'a pas été réédité et il ne se trouve actuellement que dans les bibliothèques spécialisées

La réduction du bruit des ventilateurs est très complexe car de nombreux paramètres influent sur le résultat. D'ailleurs en conclusion GUEDEL prône l'essai au banc!!!!

Néanmoins les moyens de réduction significatifs du bruit semblent être les suivants étant donné que le bruit est généré principalement au niveau de la volute par interaction des pales avec le bec de volute il conseille:

Augmentation du jeu roue-bec de volute

10% du \emptyset extérieur de la roue

Augmentation du rayon de courbure du bec de volute

Inclinaison du bec de volute par rapport aux pales

diminution de la pression sur la volute

Résonateur acoustique dans le bec de volute

Géométrie des pales de façon à améliorer l'écoulement laminaire

Cette méthode est purement expérimentale.

Traitement acoustique de la volute en la garnissant d'un matériau absorbant.

Augmentation de la turbulence de l'air à l'entrée de la roue par

la mise en place d'un grillage sur le pavillon d'aspiration.

Suppression du bruit de bord de fuite des pales par découpe en dent de scie du bord de fuite

LA SOUFFLERIE CENTRIFUGE

*LA PRESENTE SOUFFLERIE A ETE CONCUE POUR ALIMENTER
UN ORGUE CLASSIQUE DE SALON*

LA TURBINE

Si on prend pour hypothèse une turbine Ø 280mm on aura les caractéristiques suivantes:

Diamètre de la turbine= $0.8 \times 280 = 224$ mm

D2 = 280 mm

Largeur e la turbine = de $0.08 \times 280 = 22.4$ mm à $0.14 \times 280 = 39.2$ mm

Nombre de pales 16

Elle est constituée par un ensemble turbine moteur

Les caractéristiques du moteur sont les suivantes:

Moteur asynchrone monophasé 220-240 volts

2 pôles 3000 tours/ minute

Puissance 0.55 kW (une puissance de 0.37 kW aurait peut être été
suffisante)

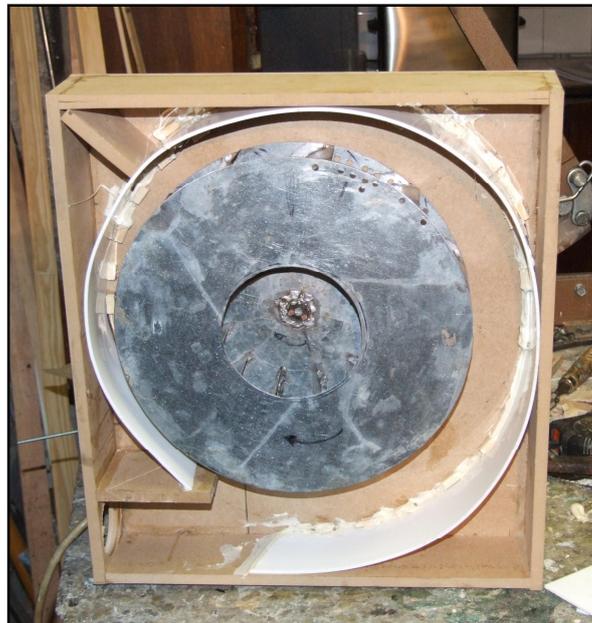
Axe de Ø14 mm Hauteur d'axe 71 mm

La disposition des pales est t'elle que la turbine fonctionne sous le régime de la réaction, c'est-à-dire inclinées en sens inverse de la rotation, ce qui procure un bien meilleur rendement.

Turbine en tôle d 'aluminium agrafées



Boitier de turbine en médium de 15 mm



Le régulateur

Les régulateurs décrits dans la littérature sont tous constitués par des soupapes. Leur régime de fonctionnement est sonore c'est pourquoi il a été opté pour un système plus fiable à savoir un robinet tournant:



La ficelle reliée au soufflet du réservoir fait pivoter le robinet de 10° environ dégageant les orifices de passage du vent. Elle est directement reliée au soufflet de la boîte à vent par une biellette.

Le réservoir

Il est constitué par un caisson directement relié au régulateur. Ce caisson est surmonté par un soufflet lesté par un poids de 5 kg. La pression d'air dans le réservoir est de 120 mm d'eau environ parfaitement régulée. Compte tenu des pertes de charge la pression à la base des tuyaux est de 80 à 100 mm d'eau.





CONCLUSION

Ce genre de soufflerie employée sur tous les orgues d'église et de salles de concert remplit parfaitement son rôle c'est-à-dire **fort débit et pression suffisante**. Malheureusement son régime de fonctionnement est très sonore, il est quasiment impossible de descendre en dessous de 70 Décibels à 1 mètre. Cela la rend parfaitement incompatible avec les orgues de salon ou en bref les instruments de petite dimension. Dans les églises les souffleries sont généralement situées dans un local attenant à l'orgue.

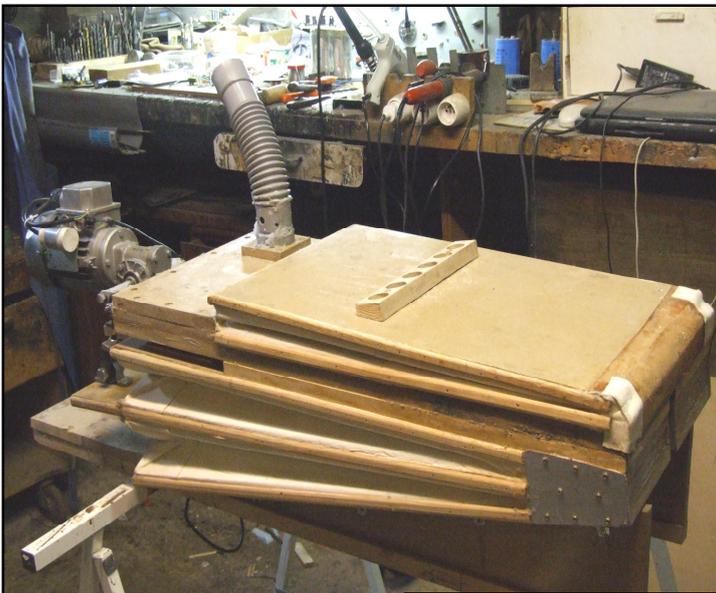
Un caisson isolant revêtu d'une feuille de plomb et à l'intérieur de mousse permet d'atténuer grandement les bruits de fonctionnement.

Un très bon équilibrage statique et dynamique de la turbine permet de supprimer les vibrations et de gagner ainsi quelques décibels.

LE SYSTEME GAVIOLI

Si on considère que l' HYDRAULE est l'ancêtre du gazomètre, le système "GAVIOLI" peut être assimilé à une "usine à gaz" . Etant donné les contraintes dues aux orgues de barbarie c'est pratiquement le seul système universellement employé. Diverses versions ou améliorations au fil des temps ont permis de le fiabiliser et d'améliorer son rendement.

Schématiquement il s'agit de deux soufflets cunéiformes actionnés alternativement et qui alimentent un réservoir lui même cunéiforme.



On trouvera sur INTERNET une littérature abondante concernant ce genre de soufflerie. Sa fabrication est délicate particulièrement si on décide s'y adjoindre la dispositif concernant la récupération de l'air non consommé par l'orgue. Voir à ce sujet l'excellent article de Johan LILJENCRANTS que l'on peut obtenir sur internet.

Ce dispositif ne permet pas d'obtenir une bonne régulation de la pression de l'air au niveau des tuyaux. En effet il est indispensable d'approvisionner en air les tuyaux de façon stable pendant l'établissement du régime transitoire. Au moment de l'ouverture de la vanne il faut que la pression reste constante dans le tuyau. Avec le système GAVIOLI cela s'avère très difficile à obtenir.



LE SYSTEME J.HAMEL

Le système **J.HAMEL** est une amélioration technologique de la soufflerie de type ventilateur centrifuge

Le fait qu'elle permette d'obtenir une pression plus que suffisante à débit constant tout en étant particulièrement silencieuse et ce dans un volume réduit reste pour moi l'objet de bien des interrogations.

Le détail de cette soufflerie est décrit par J.HAMEL sur son site:

lartdunfacteurdorguesamateur.fr

Le principe est le suivant:

Utilisation d'un moteur électrique de type BRUSHLESS tournant à 10 000 tours/ minute environ.

Volute et turbine de forme et de dimension non conventionnelle.

Variation de la vitesse du moteur en fonction de la demande en air.

<p>Ce système fabriqué avec succès présente tous les avantages souhaités pression débit constant silence de fonctionnement et devrait satisfaire nombre d'amateurs.</p>

Le moteur type BRUSHLESS

Schématiquement le moteur BRUSHLESS est un moteur de type asynchrone triphasé dont le rotor généralement extérieur est muni d'aimants puissants en lieu et place de la cage d'écurieil. L'alimentation se fait au moyen d'un commutateur électronique qui alimente de façon séquentielle les bobinages du stator.

Ce type de moteur accepte une alimentation sur une plage de tension assez vaste (généralement de 5 à 18 volts) et le commutateur permet de faire varier la vitesse de 0 à 10-12 000 tours/minute environ.

Capable de délivrer un couple important il demande un courant d'environ 5 à 8 ampères ce qui dans nécessite la mise en place d'une alimentation régulée de forte capacité.

On trouvera ci après les caractéristiques du moteur employé dans cette réalisation .

EMAX GT 2215/09

RPM/V 1180

Poids 70 g

Dimensions stator 22 15 mm

Diamètre de l'arbre 4 mm

Ce moteur est employé par les aéromodélistes de ce fait on le trouve à un prix très compétitif dans les magasins ou sur les sites consacrés à cet "hobby".

Pour ceux qui voudraient en savoir plus un article concernant le contrôle électronique de ce genre de moteur est accessible sur internet:

Elektor.fr février 2003 "Contrôleur BRUSHLESS pour R/C

LA TURBINE

La turbine est confectionnée en tôle d'aluminium de 0.8 mm d'épaisseur, en effet c'est le meilleur compromis poids/rigidité que j'ai trouvé. N'étant sans un banc d'équilibrage statique et dynamique il importe que la turbine soit la plus légère possible afin d'éviter le moindre balourd, ce qui est pratiquement impossible à obtenir.



Les dimensions de la turbine sont les suivantes:

Ø extérieur 110 mm

Ø entrée air 50 mm

Epaisseur 15mm

Nombre de pales 6

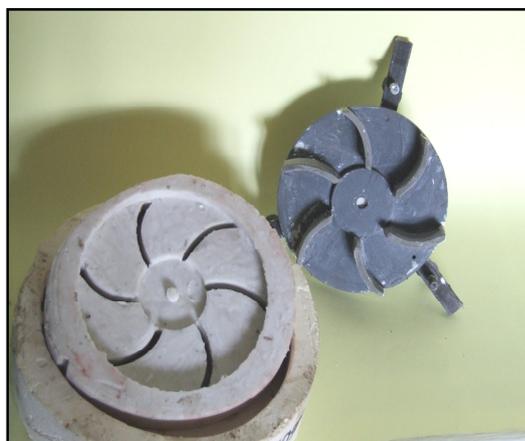
Sens de marche: réaction

Poids 32 grammes



Turbine directement montée sur le moteur. Réalisation en résine polyester: technologie abandonnée pour motif de poids trop important donc balourd.

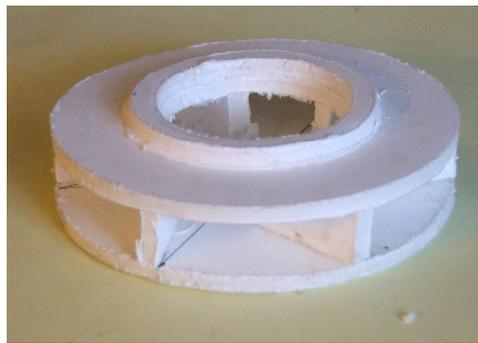
Cette turbine à été réalisée par moulage dans un moule en silicone.



La solution définitive

La turbine en aluminium malgré le soin pris à sa construction possédait un léger balourd, de ce fait elle générait des vibrations qui se répercutaient à l'ensemble de la structure de l'orgue.

Il a donc été mis en œuvre la turbine préconisée par J.HAMEL, c'est-à-dire construite en "carton plume" d'épaisseur 5mm. Le tout collé avec de la colle à bois de type vinylique.



Le poids de cette turbine est de 15 grammes, toutes les vibrations ont été éliminées et comme le matériau est légèrement plastique le bruit généré par la turbine a été légèrement atténué.

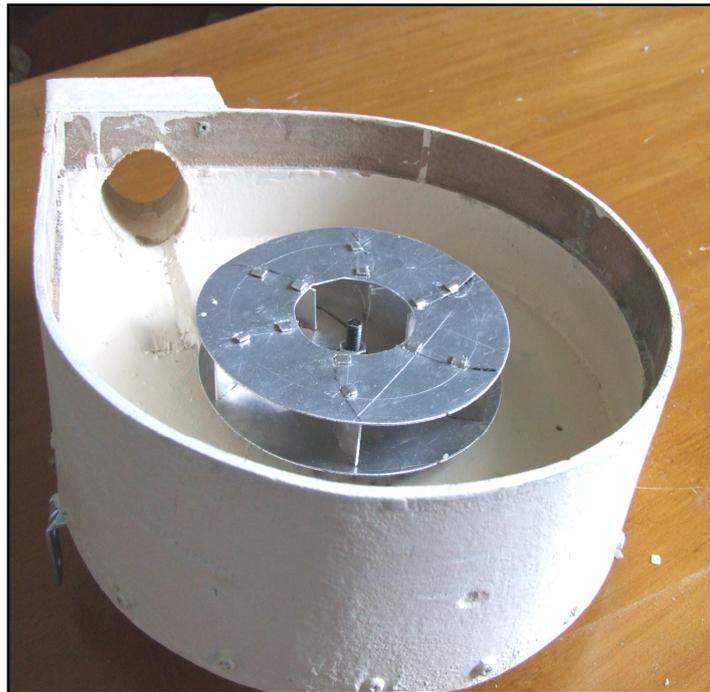
L'entrée d'air sera réglée de façon à réduire le bruit au maximum. Un jeu de 1 à 2mm semble optimal.

Cette turbine construite en matériau non conventionnel est le **meilleur compromis trouvé**. On aurait pu craindre que la force centrifuge (la turbine tourne à environ 10 000 tours/ minute) ne fasse éclater la turbine heureusement il n'en est rien.

LA VOLUTE

C'est à ce niveau qu'est la principale innovation et que se situe toute l'astuce du fonctionnement.

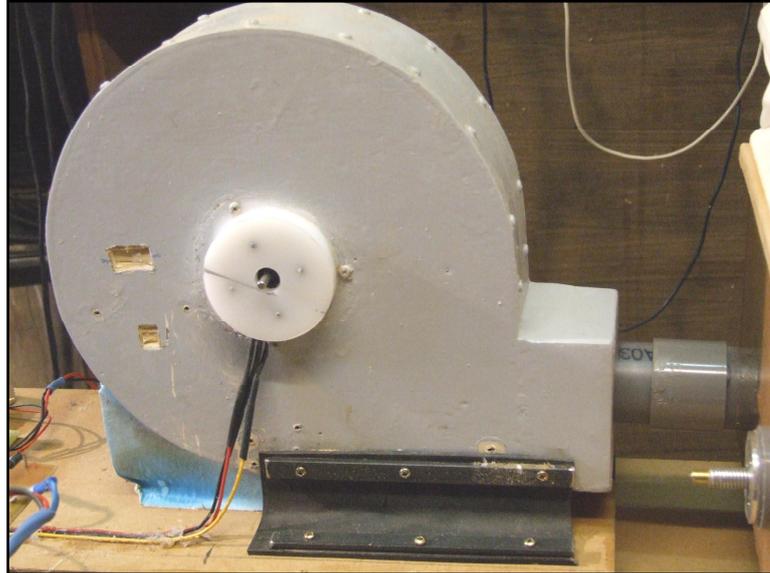
En effet tous les ventilateurs centrifuges possèdent une volute de forme ellipsoïdale. Dans le système HAMEL la volute est circulaire la turbine est positionnée au centre et il n'existe pas de bec de volute.



De plus l'espace entre la turbine et le corps de volute est important. Pour une turbine de diamètre 100mm le diamètre de la volute est de 250 mm environ et entre les flasques et la turbine le jeu est 10mm,

Par contre l'entrée d'air dans la turbine devra être obtenue sans jeu.

Tout cela va l'encontre des théories existantes relatives à ce type de ventilateur centrifuge. En réalité après avoir constaté que le sens de marche de la turbine était pratiquement sans influence, il en a été déduit que l'on n'a pas à faire à un ventilateur mais à un compresseur centrifuge, en effet l'air est puissamment rejeté contre la paroi de la volute et s'échappe par l'orifice dont la position n'est pas critique.



On remarquera que la volute est fixée sur la platine au moyen de supports en caoutchouc de façon à éliminer tous les résidus de bruits de structures.

Le moteur est positionné grâce à une platine en polyéthylène HD

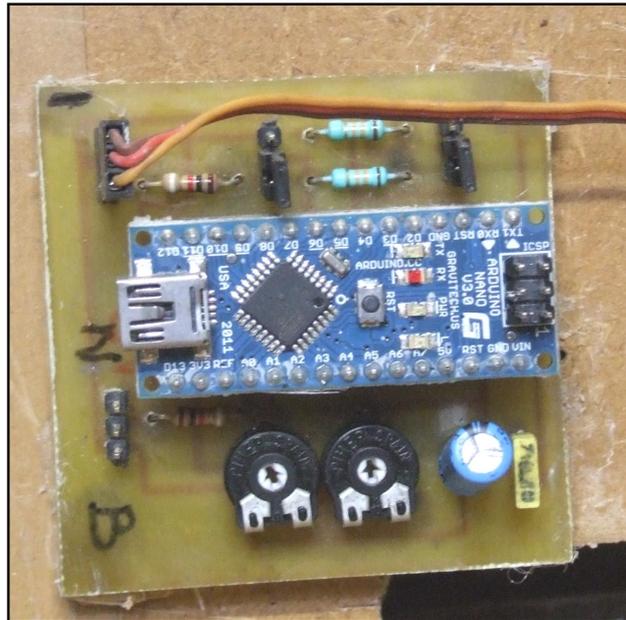
Comme le préconise J.HAMEL en sortie de ventilateur il est inséré un piège à son constitué par une chicane en matériau isolant tel que mousse de polyéthylène.

LA REGULATION ELECTRONIQUE

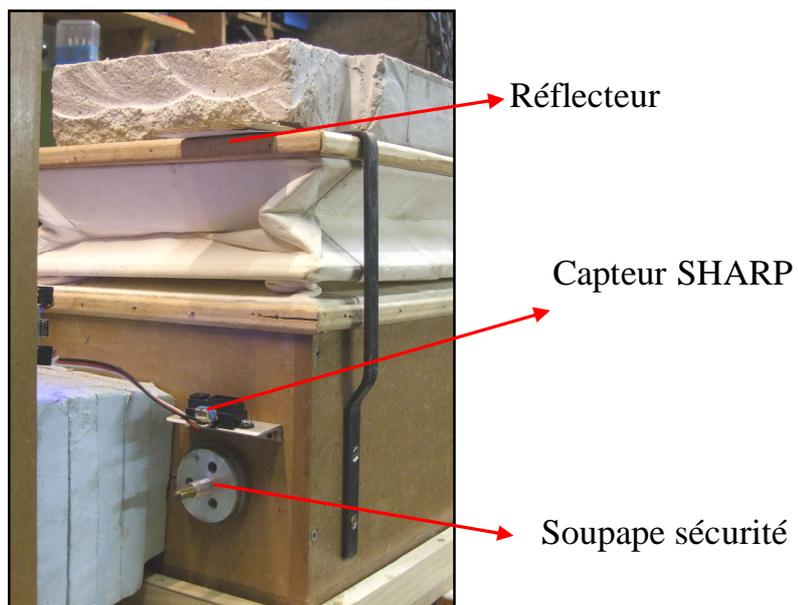
La régulation de l'ensemble ventilateur-soufflet régulateur est réalisée sans aucune modification suivant les indications de Monsieur Yves Monfort.

On trouvera l'ensemble de la description sur le site internet de Monsieur HAMEL

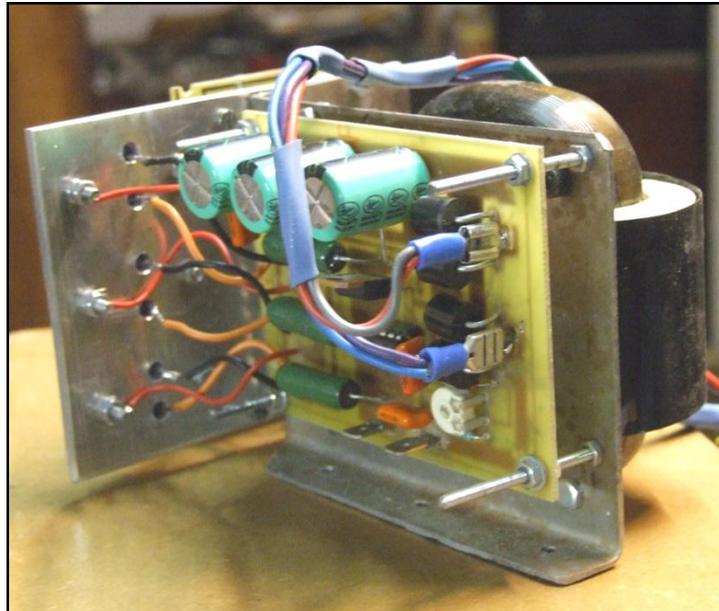
<http://www.lartdunfacreurdorguesamateur.fr>



Le module ARDUINO NANO monté sur un circuit imprimé



ALIMENTATION ELECTRIQUE POUR SOUFFLERIE HAMEL



Le moteur BRUSHLESS est un gros consommateur de courant, dans le cas présent il faut impérativement une alimentation qui puisse délivrer un minimum de 5 ampères sous 12 volts CC.

Trois solutions s'offrent au constructeur:

Alimentation à découplage vendue par les spécialistes en maquettes: privilégier une alimentation 12Ampères BMI 2112

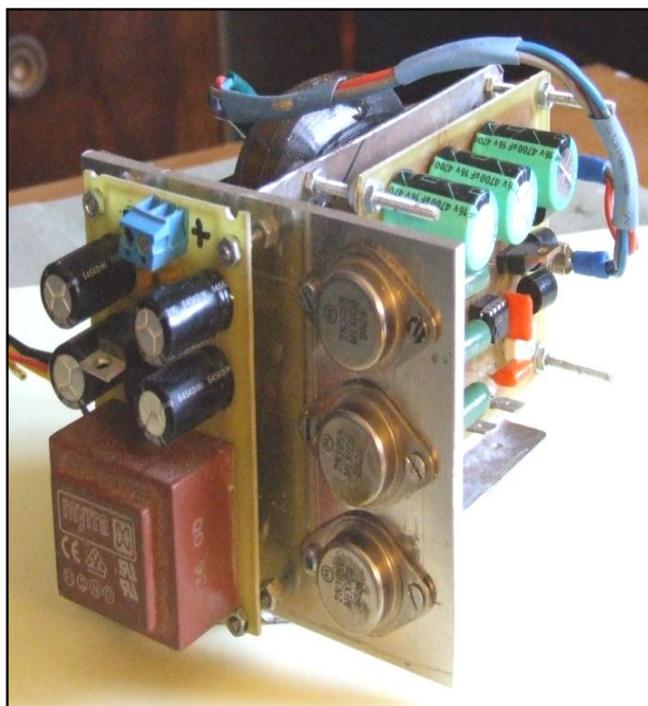
Alimentation à découplage récupération d'ordinateur

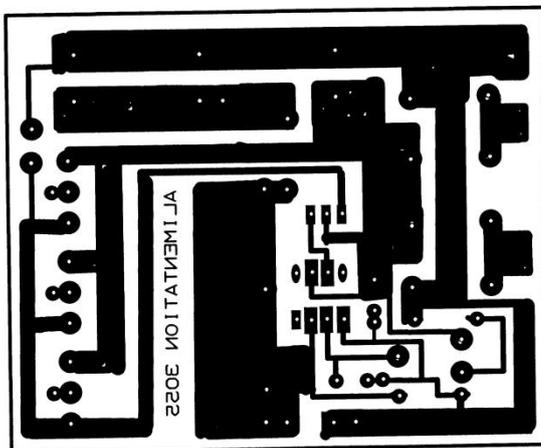
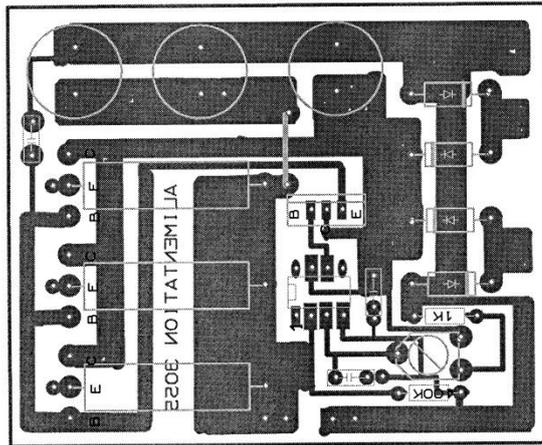
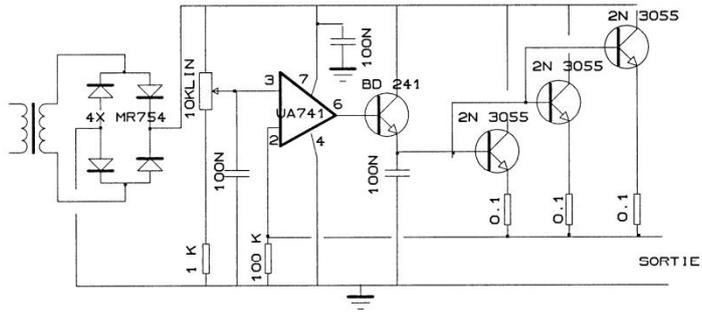
Faire chauffer le fer à souder

Il faut donc l'alimenter au moyen d'une alimentation régulée et parfaitement filtrée.

En effet ce type de moteur et son contrôleur sont prévus pour fonctionner au moyen de batteries d'accumulateurs, c'est-à-dire avec un courant ne possédant aucun résidu de 50 périodes du secteur alternatif.

La mise en œuvre d'une telle alimentation est délicate et nécessite des composants parfaitement adaptés.





Le transformateur délivre une tension de 15 volts alternatifs c'est un modèle de 100 VA environ.

Le redressement se fait au moyen d'un pont de diodes de type MR 754 chacune pouvant supporter 6A sous 400 volts.

Les transistors de puissance sont des 2N 3055 transistors bipolaires NPN. Ils sont montés en parallèle. Afin d'équilibrer le montage dans chacun de leurs émetteurs on insère une résistance de 0.1ohm 5 watts mini.

Un transistor de commande BD 241 ou TIP 31C permet de les "driver" correctement.

La contre réaction de la tension de sortie attaque l'entrée inverseuse de l'ampli OP μ A 741 qui joue le rôle de régulateur.

Le potentiomètre de 10 K Lin permet d'ajuster la tension de sortie.



SOUFFLERIE POUR ORGUES DE SALON SYSTEME J. HAMEL

Une approche différente



AVANT PROPOS

De tous les systèmes de production d'air pour les orgues de salon, le plus abouti est certainement celui mis au point par J. HAMEL. On en trouvera la description ainsi que celle de son électronique de commande sur son site Internet:

lartdunfacteurdorguesamateur.fr

Les principales caractéristiques de ce générateur d'air sont les suivantes:

-Emploi d'un moteur de type BRUSHLESS ce qui permet d'obtenir un couple important sous un faible volume ainsi qu'une variation quasi instantanée de la vitesse de rotation grâce à une électronique dédiée. (conception Yves Monfort)

-Une turbine confectionnée à partir d'un matériau ultra léger ce qui élimine les phénomènes de balourd.

-Une volute parfaitement concentrique ce qui d'après J.HAMEL *l'a mené loin des prévisions théoriques fumeuses que l'on peut lire dans de rares mémoires de thèses* (courriel J. Hamel du 30/06/2012).

-Une réduction considérable du bruit de fonctionnement par rapport aux systèmes classiques de ventilateur.

A partir de toutes ces considérations amélioré l'ensemble a été amélioré afin de le rendre plus compact et de réduire considérablement le bruit de fonctionnement. C'est l'objet du présent chapitre.

REFLEXIONS SUR LE BRUIT

Le bruit généré par la soufflerie est du aux causes suivantes.

Le Moteur

Le moteur en lui même est silencieux ce qui est sonore ce sont les roulements à bille qui le composent. Un moteur Brushless monté avec des paliers lisses serait parfaitement silencieux.

Le bruit généré par les roulements à bille est parfaitement connu: il est du

-à un défaut d'appairage des billes par rapport aux pistes des bagues

-à des défauts de rectification sur machines Centerless des pistes. Ces défauts de l'ordre de 1/100 de micromètres ne sont pas mesurables et génèrent à grande vitesse des micro-vibrations origine du sifflement caractéristique des roulements à bille.

Dans le domaine de l'emploi en soufflerie il n'y a qu'un moyen de pallier ce phénomène: tester un certain nombre de moteurs et employer le moins bruyant.(solution peut applicable par un amateur)

La géométrie de la soufflerie

Le bruit est généré par les vibrations de l'air dues à son frottement sur les parois ainsi que par les variations de vitesse imposées par les différents obstacles qui en réduisant ou augmentant les surfaces de passage sont de ce fait génératrices de vibration.

La turbine

Dans le cas présent la turbine tourne entre 8000 et 10000 tours/minute. De ce fait la moindre aspérité sur elle même et la volute provoque un effet de "sirène".

Comme dans tous les ventilateurs l'aspiration peut générer des phénomènes de bruit à basse fréquence.

Le carter

Les vibrations sont transmises à l'air ambiant par le carter

L'aspiration

A partir de ces considérations la mise en œuvre d'une soufflerie silencieuse et compacte ne posait plus de problèmes majeurs.

Le principe est le suivant:

Le groupe moto-ventilateur, la volute, le réservoir et l'électronique sont réunis dans un même coffret conçu de telle façon que toute intervention ne nécessite aucun démontage fastidieux.



Le groupe moto-ventilateur

Le moteur est de type BRUSLESS EMAX GT 2820/06 dont les caractéristiques sont les suivantes:

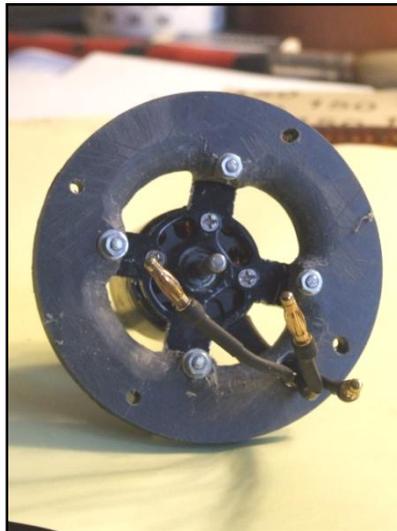
KV 985

Poids 140g

Diamètre 35 mm

Le contrôleur sera adapté en conséquence.

Le moteur est monté à l'intérieur de la turbine de ce fait il est refroidit par l'air aspiré.



Le support est en PVC de façon à être positionné sur la volute au moyen de vis.

Un carter également en PVC (tube de Ø 50mm) permet de canaliser l'air.



La turbine est fixée sur le nez du moteur, le tube en PVC entre légèrement (environ 2mm) dans la turbine avec un jeu radial de 2mm également

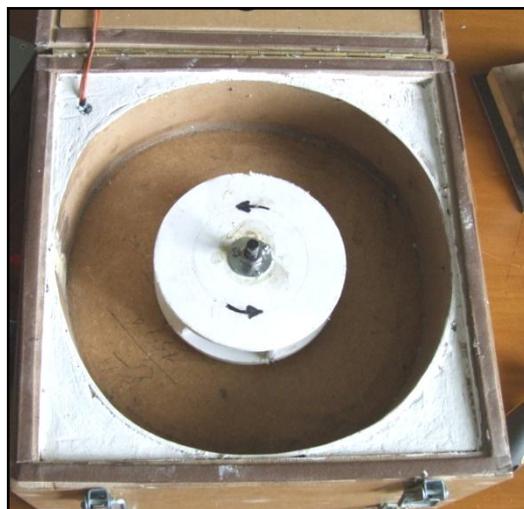


La turbine est conforme aux spécifications de J.Hamel dans le cas présent elle a pour diamètre 120mm et les pales 25mm de largeur.

La volute

A partir de la volute on entre dans la spécificité du système.

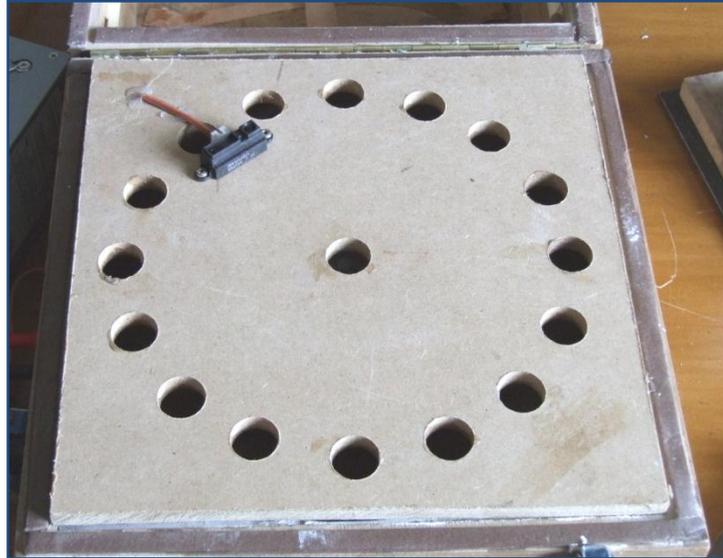
Une photographie explicite le montage



L'espace entre la turbine et les flasques de la volute est de 15 mm

Comme on pourra le constater il n'y a pas de bec de volute.

L'air ne peut s'échapper que verticalement



Un flasque muni de trous permet à l'air comprimé de migrer vers le réservoir ce flasque permet de réduire le bruit généré par la turbine. La surface totale des trous devra être supérieure à celle de la sortie de l'air vers l'orgue

Pression eau	Db sans flasque	Db avec flasque
8 mm	85 décibels	63.6 décibels
10 mm	86 décibels	65.0 décibels
12 mm	89 décibels	67.1 décibels

Mesure effectuée avec sonomètre BRUEL et KJAER positionné à 1 mètre de la turbine.

Comme on le constate ce dispositif à une réelle utilité



Quant à expliquer ce qui se passe pour obtenir un tel résultat j'en laisse le soin à un universitaire chevronné.

Le réservoir

Il est situé juste au dessus de la turbine son volume est de 0.07 m³ ce qui est largement suffisant. A son sommet un soufflet permet de réguler la pression d'air en fonction de la demande

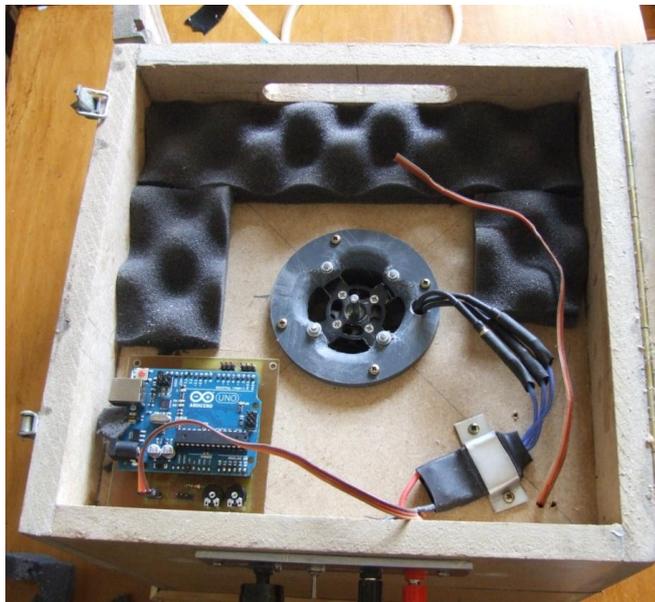


La sortie de l'air vers l'orgue se fait sur le coté



On remarquera à la base de la volute l'orifice d'admission de l'air

L 'électronique de commande (module ARDUINO) est positionné dans le caisson d'admission de l'air



L'alimentation

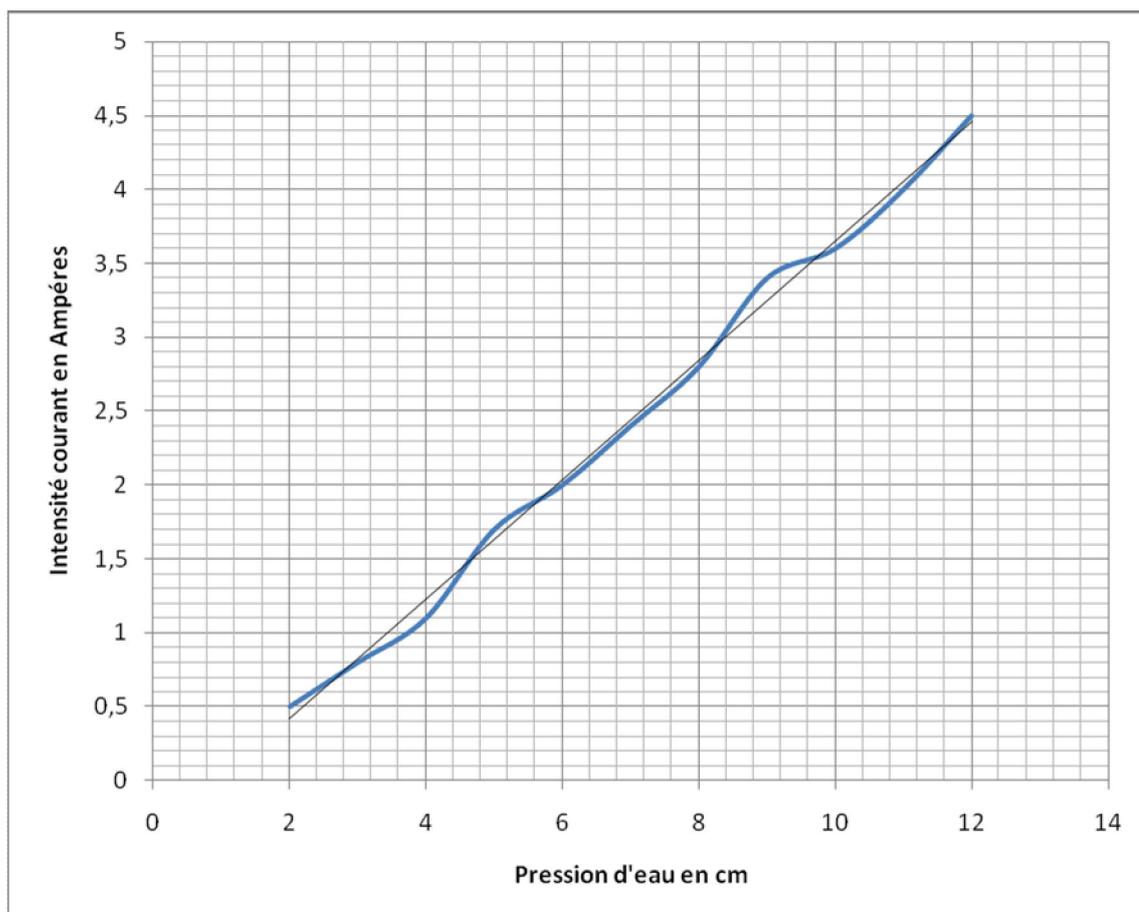
Il s'agit d'une alimentation d'ordinateur récupérée à la déchetterie

On trouvera ci-joint un relevé de courant absorbé en fonction de la pression d'eau.

EN RESUME

Un minimum de bruits parasites dans un minimum d'encombrement 30cm X 30 cm X 30cm pour une efficacité optimale pression d'air de 0 à 15 cm d'eau.

Intensité de courant absorbé par le moteur en fonction de la pression d'air demandée donc de sa vitesse de rotation



STATION D'ESSAI

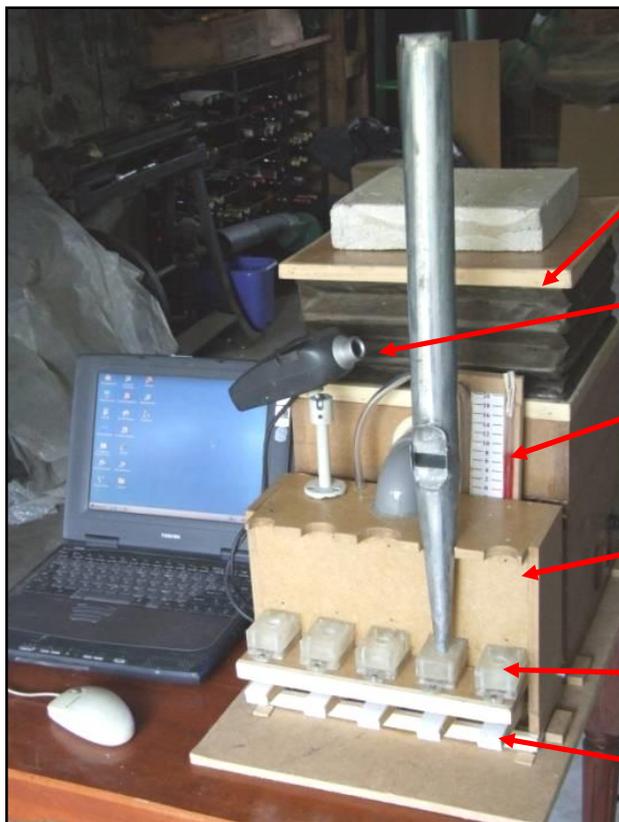


Très rapidement il est apparu que pour la mise au point des différents organes de l'orgue il était nécessaire de construire une station d'essai.

En effet certains détails de construction permettent d'améliorer la conception et de la sorte le résultat final.

La station d'essai se compose donc de:

- Une soufflerie basée sur le principe HAMEL
- Un manomètre à eau
- Un corps de station permettant des qualifier cinq tuyaux simultanément.
- Un sonomètre
- Un ordinateur faisant objet d'analyseur de spectre (logiciel PICOSCOPE)



Soufflerie HAMEL

Sonomètre

Manomètre

Corps de station

Vannes

Touches de commande

LA SOUFFLERIE HAMEL

Le principe de cette soufflerie est décrit dans le chapitre relatif aux souffleries, néanmoins les certaines particularités ont été successivement étudiées.

La suspension du moteur

Afin d'éviter de répercuter les vibrations à l'ensemble de la soufflerie, le moteur "Brushless" est monté sur un équipement en silicone moulé.

Le moteur en vue de dessous monté sur son support en silicone.





Support en silicone et son moule



Boîtier d'aspiration position ouverte avec alimentation du moteur

LA TURBINE

Conformément au principe HAMEL: la turbine est confectionnée en "carton plume" d'épaisseur 5mm

Il a été fabriqué des turbines de dimensions différentes

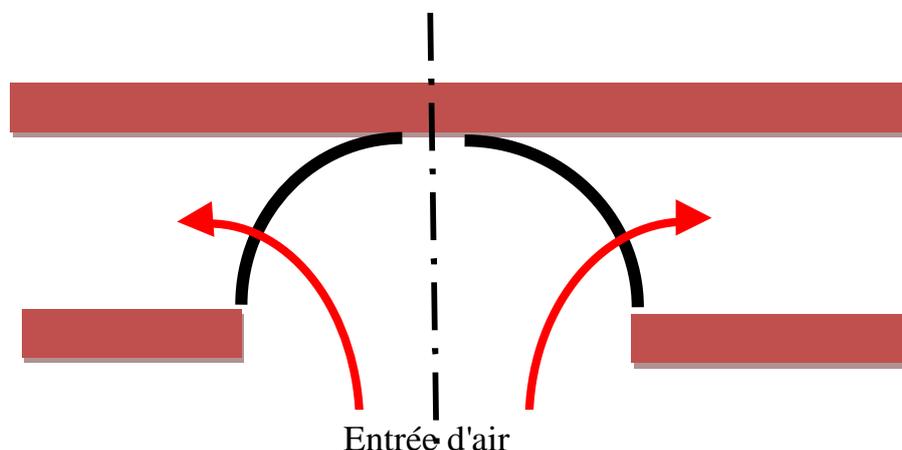


Ne possédant pas de débitmètre le critère retenu à été celui du courant électrique absorbé pour une même pression (80 mm d'eau) tout en notant grâce au sonomètre l'intensité du bruit généré par la turbine.

Très vite il est apparu, que les dimensions de la turbine, dans les limites des critères de HAMEL, n'ont que peu d'influence sur les résultats obtenus.

Par contre il semblerait que le bruit généré par la turbine soit conditionné par la forme des pales en entrée d'air.

Le meilleur résultat obtenu, semble être la forme suivante



LA VOLUTE

Etant donné que selon toute vraisemblance le système ne fonctionne pas en ventilateur mais plutôt en compresseur la volute a été garnie de mousse absorbante. Cela n'a perturbé en rien le fonctionnement de la soufflerie et a fait gagner de précieux décibels.



Le diamètre intérieur de la volute est environ le double du diamètre de la turbine

L'intérieur de la volute est revêtu de matériau absorbant comme le préconise A. GUEDEL dans son ouvrage sur le bruit des ventilateurs.

LA SEPARATION COMPRESSEUR RESERVE D'AIR

La géométrie des lumières permettant à l'air comprimé de passer du compresseur à la réserve se révèle très importante.

Le meilleur résultat est celui explicité sur la photographie ci-dessous:



Les lumières sont positionnées légèrement en retrait de la volute.

LA RESERVE

De type classique elle comporte un soufflet et à l'intérieur est positionné le capteur infrarouge qui pilote le module ARDUINO (voir chapitre concernant la soufflerie)



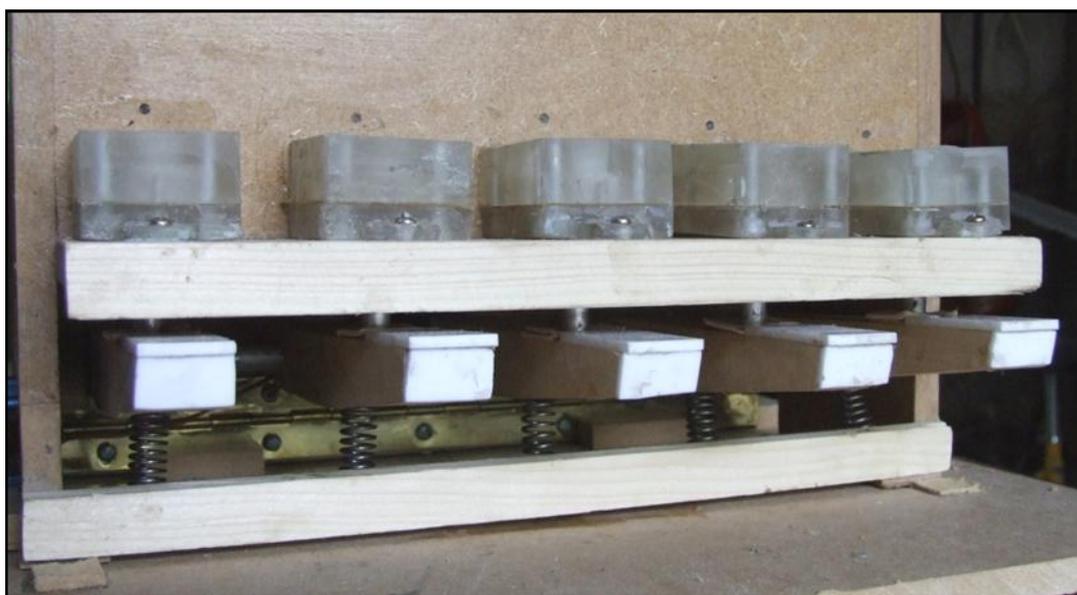
La réserve vue de l'intérieur. Le fond est peint en blanc de façon à faciliter le fonctionnement du capteur IR.

LES VANNES

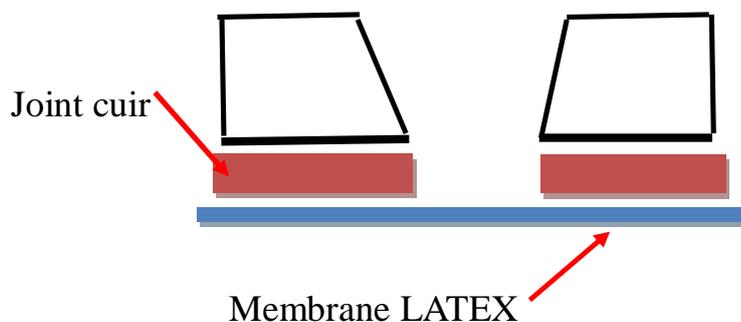
Il s'agit de vannes obtenues par moulage (voir chapitre dédié).

Ces vannes permettent d'obtenir sur une grande plage de pression de fonctionnement (60 à 200mm d'eau) une parfaite répétabilité.

Sur la station d'essai elles sont commandées par des touches manuelles qui font office de flûte de pan.



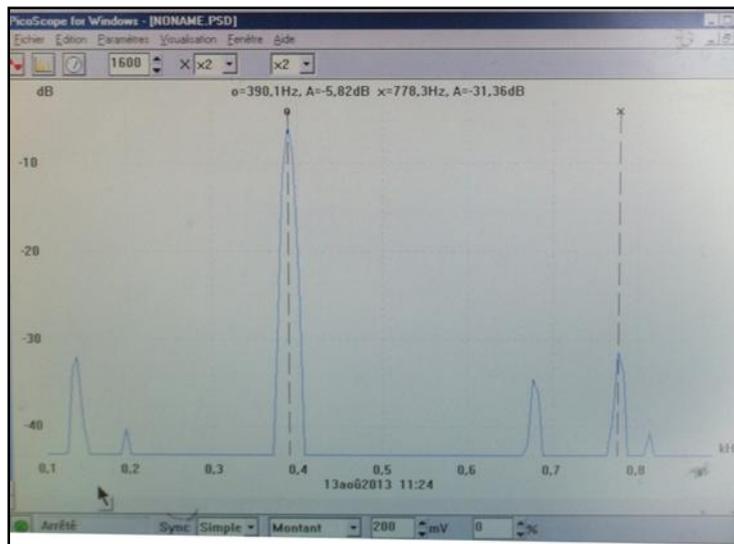
La station d'essai a permis d'optimiser leur conception, en particulier le joint en cuir doit au repos venir affleurer la membrane en latex.



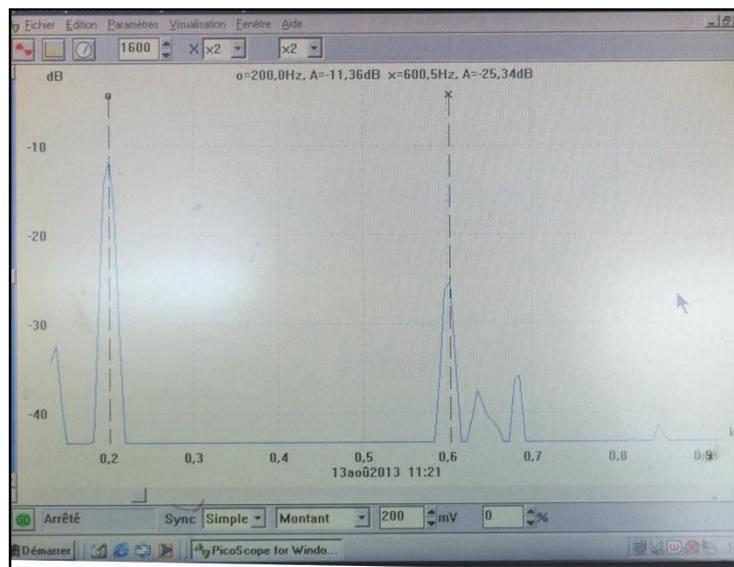
CAPTURE DU SON

Le sonomètre est placé derrière les tuyaux à analyser de façon à ce que son microphone ne soit pas perturbé par le souffle de l'air en excès provenant de leur bouche.

L'ordinateur et le logiciel PICO SCOPE permettent de visualiser les spectres d'émission.



Spectre tuyau ouvert



Spectre tuyau bouché



Soufflerie en cours de fonctionnement

LA FABRICATION DES TUYAUX METALLIQUES



LE METAL

Lorsque l'on se réfère à la littérature concernant le métal à employer pour fabriquer les tuyaux d'orgues chaque auteur ne jure que par l'emploi d'un métal particulier ou un alliage parfois exotique et cela sans bien souvent n'apporter aucune preuve tangible à son choix.

Ayant la chance de posséder un analyseur de spectre, afin de trancher le dilemme une fois pour toute, il a été fabriqué plusieurs tuyaux: un La 3 "bouché" et un La 3 "ouvert" de diamètres 30 mm.

Ces tuyaux ont été réalisés en

Tôle galvanisée ep. 0.8mm

Cuivre ep.1.00mm

Zinc ep. 0.62mm et 0.8mm

Plomb ep. 1.00mm

Bois (pin) ep. 5 mm environ

Comme cela était prévisible il n'a été constaté aucune différence notable au niveau des harmoniques pairs et impairs. Pression de mesure 80 mm d'eau.

En réalité le problème ne vient pas de la qualité du métal mais de sa densité. En effet particulièrement pour les tuyaux bouchés du bas de la gamme (Do1 à Si2 environ) le corps du tuyau a tendance à vibrer et de ce fait générer un son parasite qui peut s'apparenter à un "tremblant".

On met en évidence le phénomène en fabriquant un tuyau en métal de très faible épaisseur, simplement au toucher, entre les doigts, on sent vibrer le corps du tuyau.

On constate donc que pour les tuyaux métalliques il s'agit d'un problème de rigidité du corps.

Plus le métal employé aura une forte densité et un faible coefficient d'élasticité: meilleur sera le résultat.

On est limité par le poids et la mise en œuvre. Il n'est pas facile de fabriquer un tuyau en fer ou en cuivre. Quand aux tuyaux en plomb ils manquent de rigidité.

L'emploi d'alliage étain-plomb appelé encore ETOFFE n'est qu'une illustration de ce qui précède, c'est le moyen, avec la technologie d'époque, qu'avaient trouvés les facteurs d'orgue du siècle de Don Bedos pour obtenir des tuyaux parfaitement rigides et ayant un poids acceptable.

En conséquence de quoi l'orgue à été fabriqué avec des tuyaux en zinc. En effet on trouve facilement de la tôle de zinc d'épaisseur 0.62 ou 0.8 mm, de plus ce métal se travaille aisément, à un bel aspect et se soude à l'étain au fer à souder.

La fabrication de tels tuyaux est plus aisée que celle des tuyaux en bois et de plus on peut jouer sur l'élasticité du métal pour positionner la lèvres supérieure correctement par rapport à la lumière.

LES CARACTERISTIQUES

La fréquence générée par un tuyau est fonction de différents critères:

La longueur du corps c'est-à-dire entre la lumière et le haut du tuyau.
Le diamètre du tuyau

Dans un mémoire rédigé en 1860 à l'adresse de l'académie des sciences A. Cavaillé-Coll démontre que: *la longueur des tuyaux cylindriques est égale au quotient de la vitesse du son par le nombre de vibrations moins les 5/3 du diamètre du tuyau.* En d'autres termes la longueur du tuyau n'est pas le seul critère à prendre en compte pour caractériser un tuyau.

A ce sujet on pourra se référer à une intéressante étude menée par des élèves du lycée Jean-Jacques Henner d'Altkirch (68) en 2012. Avec des moyens d'expérimentation modernes elle confirme de façon scientifique les affirmations de Cavaillé-Coll.

L'accord varie en outre en fonction de la position des oreilles:

Grace à l'analyseur de spectre pour un même tuyau dont les caractéristiques sont les suivantes:

	Tuyau bouché	Tuyau ouvert
Diamètre	60	40
Hauteur du tube	185	415
Hauteur de bouche	16	10
Métal	Zinc ep. 8/10	Zinc ep. 8/10

Il a été trouvé comme son fondamental:

	Sans oreilles	Oreilles position normale	Oreilles position fermée
Tuyau ouvert	363.9 hertz	361.1 hertz	358.1 hertz
Tuyau bouché	158.5 hertz	157.2 hertz	156.1 hertz

La position des oreilles influe donc très légèrement sur l'accord et en outre il a été constaté qu'elles modifient le régime des harmoniques donc le timbre des tuyaux dans une très faible proportion.

En résumé B.Teulon dans son ouvrage intitulé "DE L'ORGUE" conclue:

Le timbre est le résultat d'un ensemble complexe: diapason, dimension de bouche, position de lèvres, matériau utilisé, richesse des harmoniques, etc. Ce qui veut dire que l'on ne peut raisonnablement prédire comment un tuyau sonnera avant de l'avoir positionné sur l'orgue, et que d'un orgue à l'autre il sonnera différemment.

D'autre part la qualité sonore et le timbre sont influencés par les ***transitoires d'attaque***. En effet lors de l'établissement du régime sonore d'un tuyau, principalement pour les tuyaux ouverts, certaines harmoniques sont générées avant le fondamental. Pour un tuyau sonnant dans les octaves supérieurs cela peut aller de 0.1 à 0.5 sec et suivant le taux de réverbération du local où se trouve l'instrument, le moment de disparition aléatoire et erratique du fondamental et des harmoniques peut être mesurée.

C'est une des raisons qui font que la réverbération d'un édifice est une donnée fondamentale dans l'appréciation d'un orgue.

On pourra à cet égard se procurer sur internet une étude de Guillaume Nief (Université de Paris VI Jussieu) concernant la documentation acoustique de l'orgue de Sainte Elisabeth à Paris. Il étudie toutes les variables concernant la qualification des tuyaux du positif de l'instrument. Ses conclusions sont édifiantes: ***compte tenu des fréquences générées, de la position de l'auditeur et des paramètres inhérents à la construction de chaque tuyau aucune loi formelle ne peut prédire du résultat.***

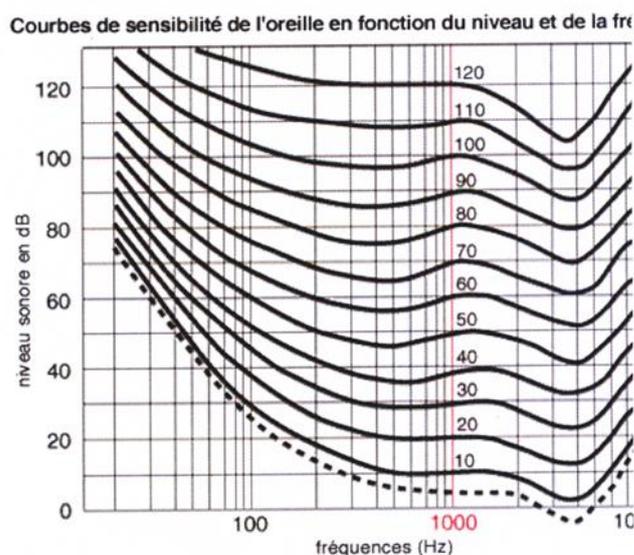
D'après les résultats des mesures effectuées in situ les transitoires d'attaque présentent des différences importantes à tel point qu'il met en évidence que pour un même tuyau ***la position de l'auditeur modifie de façon sensible la perception du spectre d'émission.***

LA FABRICATION DES TUYAUX

En tout premier lieu on devra définir la "progression" ou "diapason" c'est-à-dire le rapport des diamètres intérieurs des tuyaux entre deux notes.

Ceci est fondamental car cela permet de définir le diamètre de tous les tuyaux constituant un jeu.

Plusieurs méthodes pour définir ce rapport sont possibles, en premier la méthode graphique décrite par DON BEDOS c'est la plus simple, en second lieu, au dix neuvième siècle, on a introduit des formules mathématiques qui ne reposent, bien souvent, sur aucun principe scientifique. Il aura fallu attendre l'année 1933 pour que FLETCHER et MUNSON mettent au point les courbes "isophoniques" qui devinrent la norme ISO 226:2003 pour que tout cela soit remis en question. En effet l'oreille humaine, merveilleux transducteur, ne possède pas une courbe de réponse linéaire et qui de plus varie en fonction, en fonction du vieillissement



DON BEDOS fait une distinction des jeux d'orgue entre *menue ou petite taille, moyenne taille, et grosse taille*. Les tailles varient en fonction de l'édifice et du jeu, en résumé le diamètre des tuyaux est laissé à l'appréciation du facteur d'orgue.

On devra définir en second lieu la hauteur des cônes ou pieds de tuyaux, la hauteur de la bouche, la largeur de la bouche ainsi que la dimension de la lumière.

Par simplification les rapports utilisés sont les suivants:

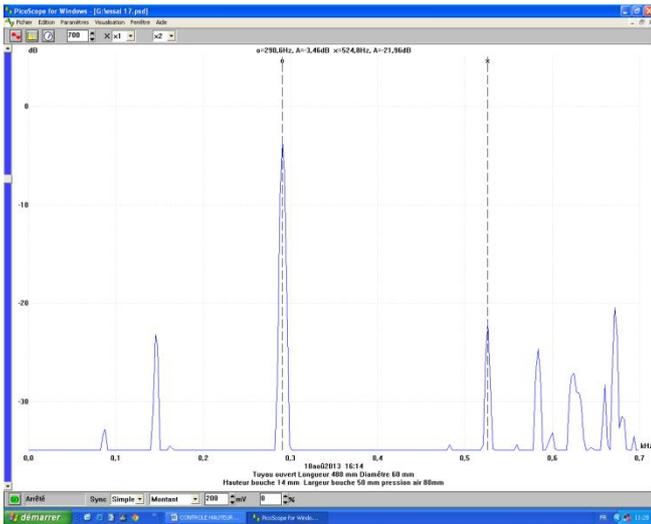
Largeur de bouche	1/4 de la circonférence \varnothing intérieur
Hauteur de bouche tuyau fermé	1/4 largeur de bouche
Hauteur de bouche tuyau ouvert	1/3 largeur de bouche
Lumière	0.4 mm à 0.8mm suivant \varnothing tuyau
Hauteur du cône ou pied de tuyau	indifférent

La **hauteur de bouche** principalement pour les tuyaux fermés est très critique. D'elle dépend le régime sonore (harmoniques) et l'intensité de son produit.

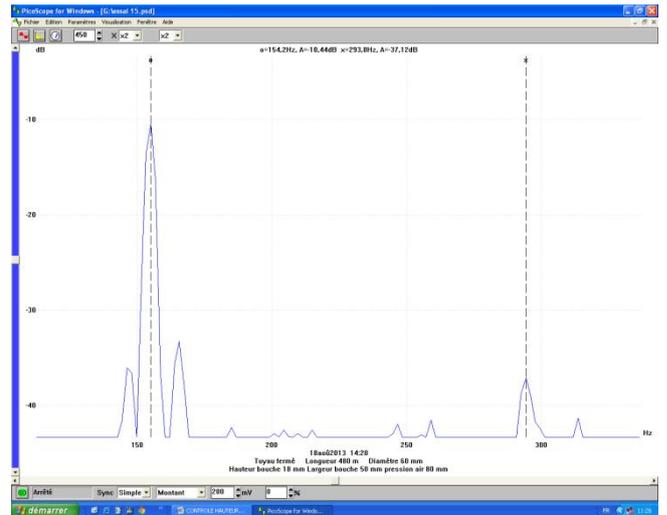
A cet effet une étude rapide concernant la hauteur de bouche pour des tuyaux ouverts et fermés de différents diamètre à été entreprise.

Les résultats sont explicités par les courbes ci après obtenues pour une pression d'air de 80 mm d'eau.

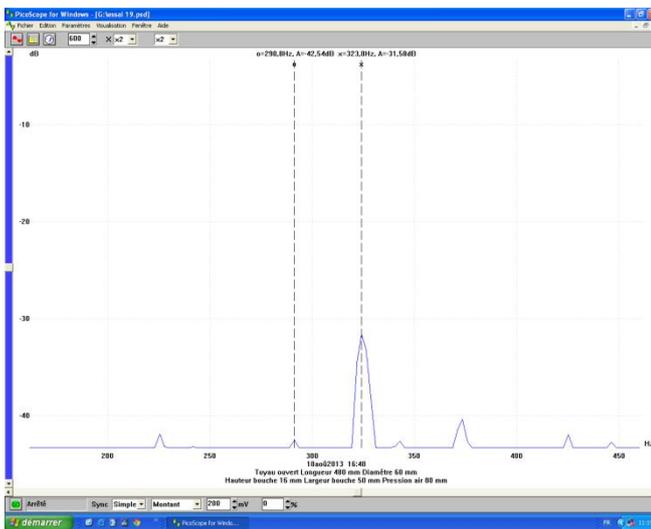
Tuyau Ø 60mm Largeur bouche 50mm Hauteur tube 480 mm



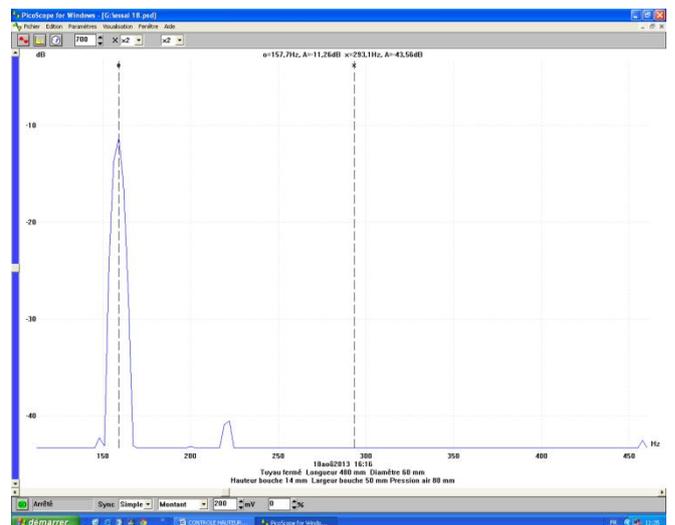
Tuyau ouvert hauteur bouche 14mm



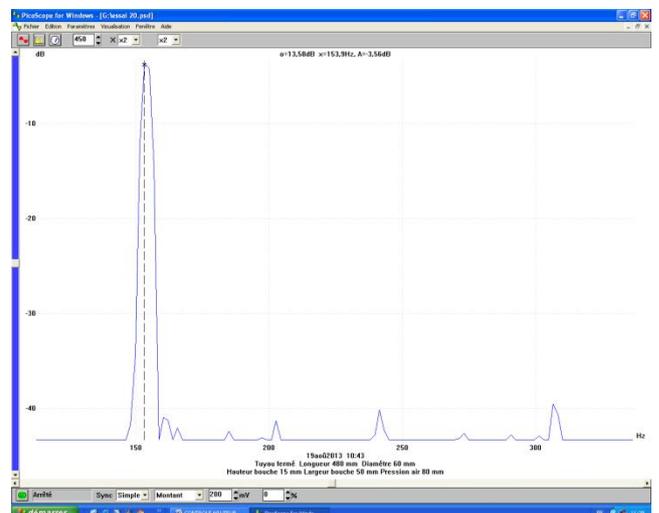
Tuyau fermé hauteur bouche 14mm



Tuyau ouvert hauteur bouche 16 mm

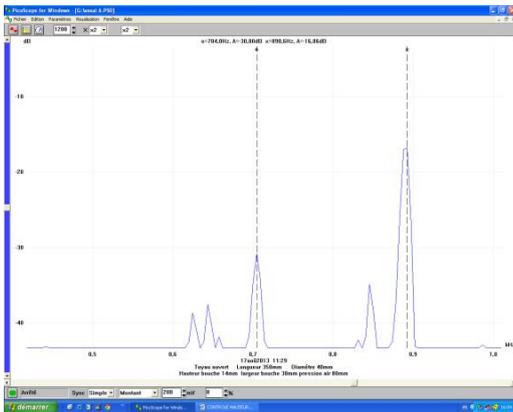


Tuyau fermé hauteur bouche 16 mm

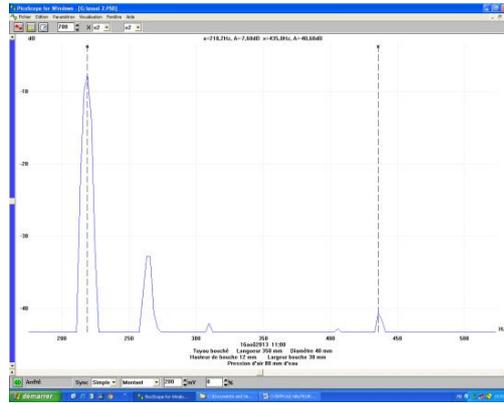


Tuyau fermé hauteur bouche 18 mm

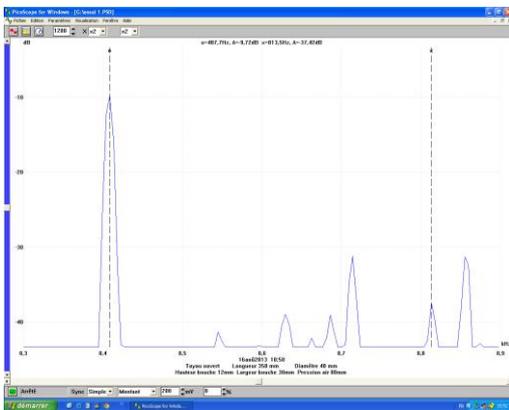
Tuyau de Ø 40mm Largeur de bouche 30 mm Hauteur 350mm



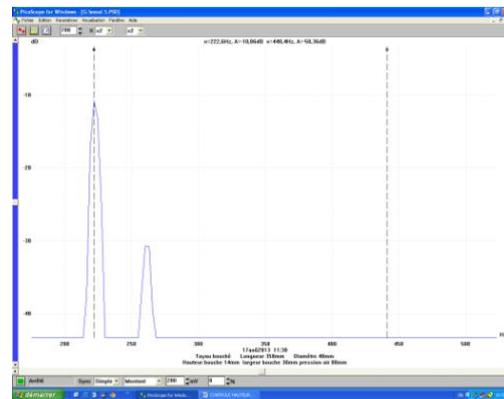
Tuyau ouvert H. bouche 14mm



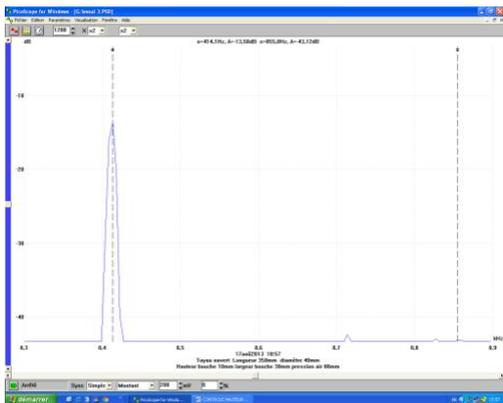
Tuyau fermé H. bouche 14mm



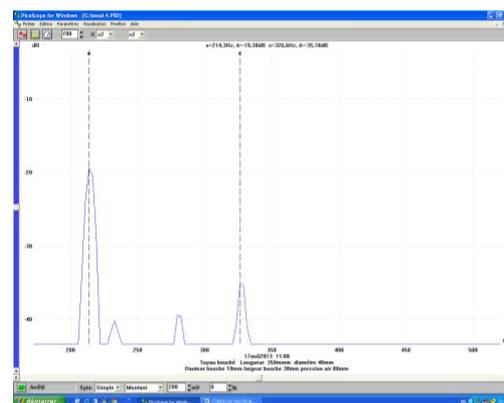
Tuyau ouvert H. bouche 12mm



Tuyau bouché H. bouche 12mm

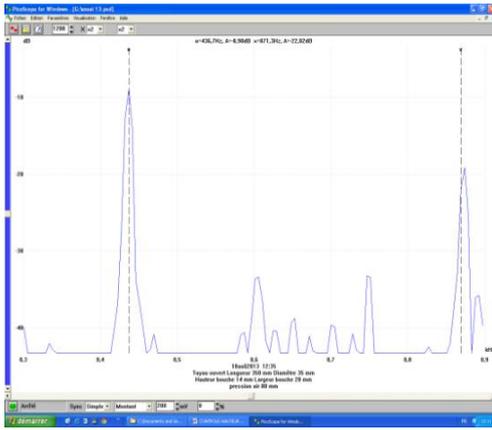


Tuyau ouvert H. bouche 10mm

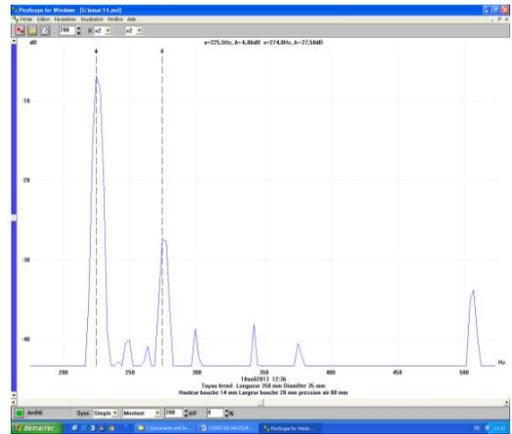


Tuyau bouché H. bouche 10mm

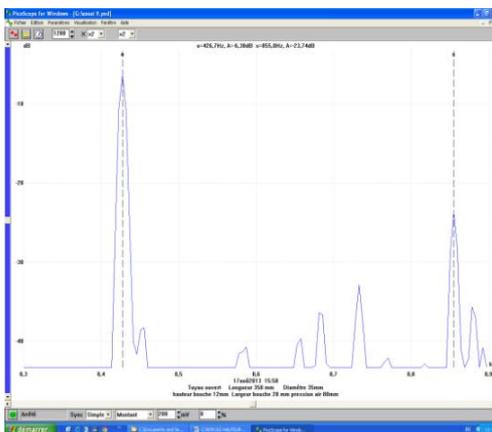
TUYAU Ø 35 mm Largeur de bouche 28 mm Longueur 350 m



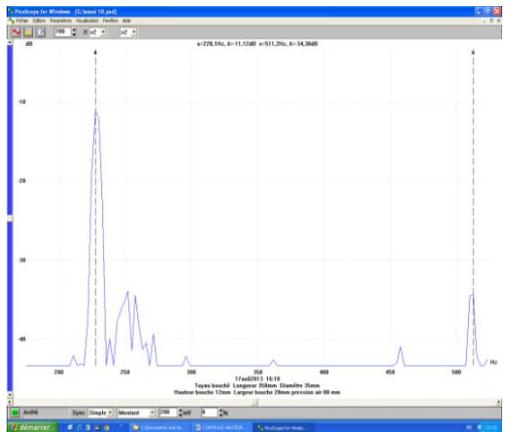
Tuyau ouvert bouche 14 mm



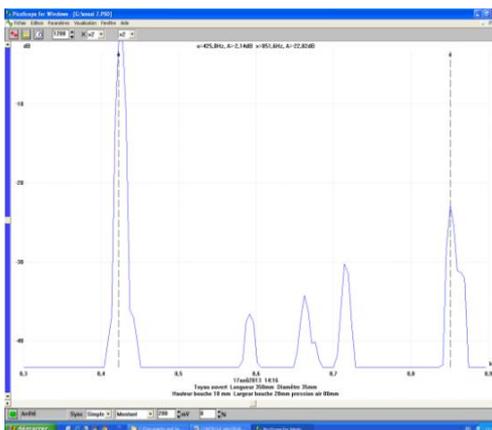
Tuyau fermé bouche 14 mm



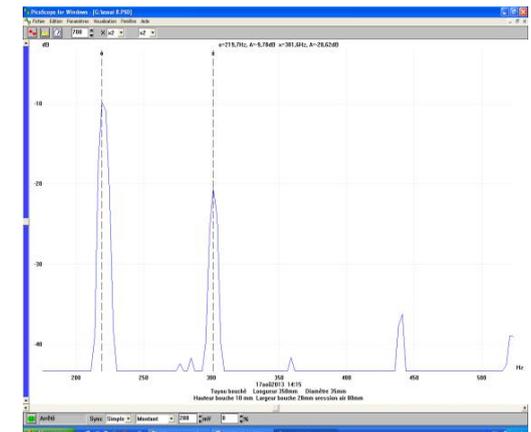
Tuyau ouvert bouche 12mm



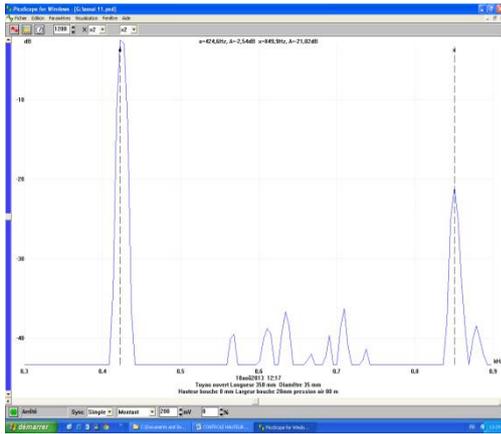
Tuyau fermé bouche 12 mm



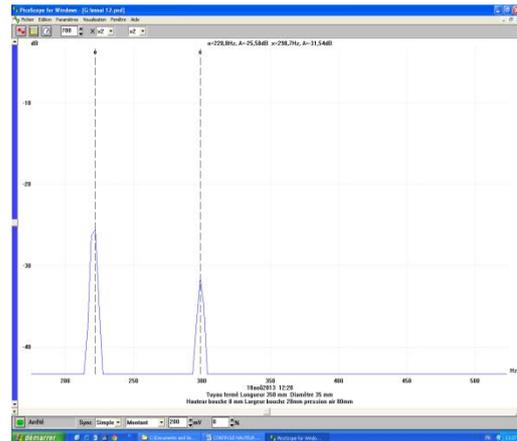
Tuyau ouvert bouche 10 mm



Tuyau fermé bouche 10 mm



Tuyau ouvert bouche 8 mm



Tuyau fermé bouche 8mm

Les hauteurs de cônes devront être définies de façon à ce que les bouches soient alignées de façon linéaire ou en progression harmonieuse et ce uniquement pour l'esthétique de l'orgue

C'est pourquoi pour les cônes on tracera des gabarits en carton ou en métal préalablement à la découpe du métal.



Un tuyau se compose généralement de deux pièces:

Le cône ou pied de tuyau avec sa lumière

Le tube dont la longueur détermine le ton.

Suivant les cas on fabriquera des tuyaux munis "d'écussons" ou simplement par déformation du pied et du corps de tuyau. Le résultat acoustique est similaire. L'écusson est préféré pour une raison d'esthétique des tuyaux de façade.



En premier lieu on procède à la découpe du métal au moyen d'une "**griffe à zinc**"



Cet outil permet d'obtenir des coupes franches et parfaitement rectilignes. Ensuite vient la mise en forme au moyen d'un maillet en bois ou d'un outil propre aux organiers, une sorte de "batte" en bois afin d'éviter les marques de frappe sur le métal.

La soudure est faite à l'étain, on prendra soin de faire en sorte qu'il ne subsiste aucun micro trous à l'origine de déboires lors de l'harmonisation du tuyau.



Mise en forme au moyen d'un mandrin en bois

Un mandrin en bois usiné au diamètre intérieur du tube et enfoncé de force permet d'obtenir un tube parfaitement rectiligne et sans marques



La mise en forme du métal est une affaire d'habilité du concepteur qui dans tous les cas doit posséder quelques rudiments de travail des métaux en feuille.

Toutes les soudures sont faites à l'étain:



Il est recommandé d'employer un fer à souder de 1000 watts environ. L'étain pourra de préférence être à âme décapante ce qui évitera l'emploi de chlorure de zinc qui risque de tacher le métal

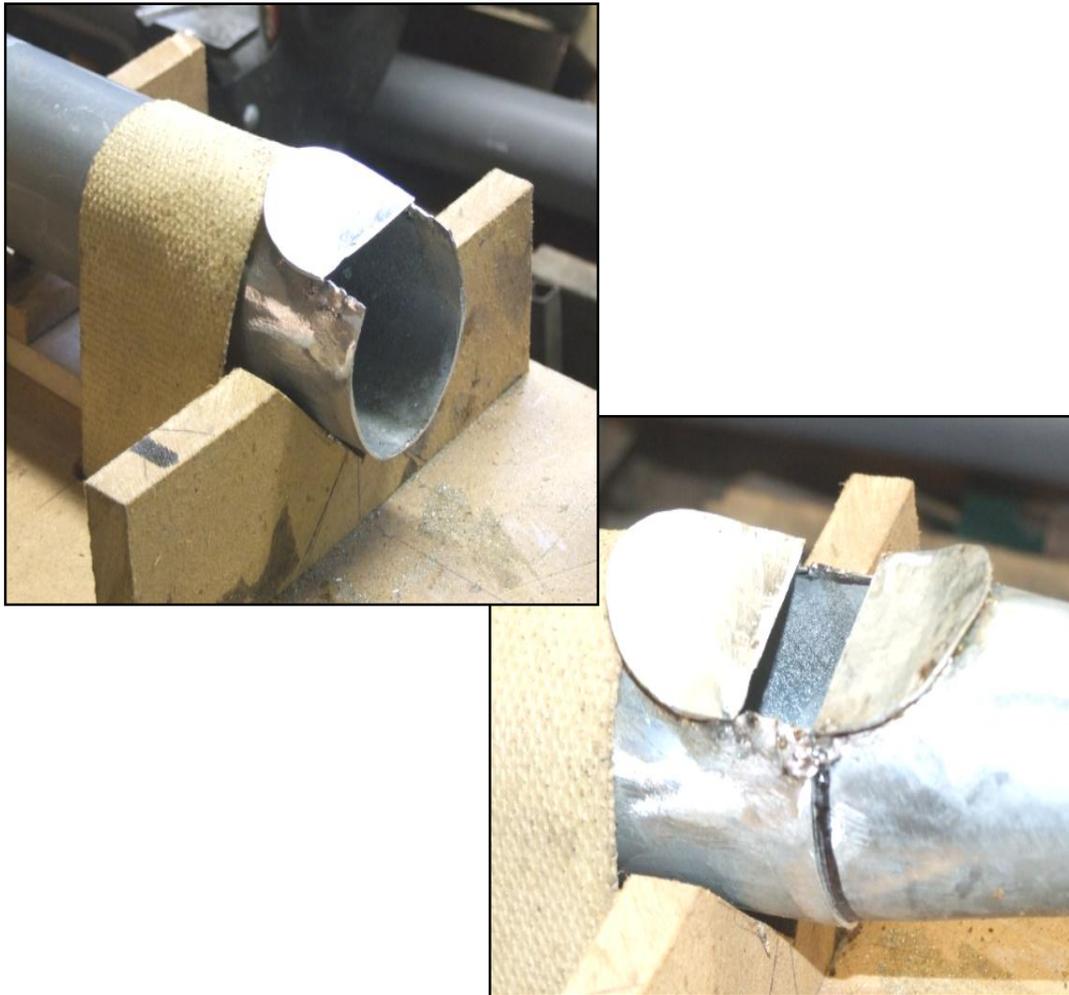


Dispositif permettant d'aligner le cône afin qu'il se positionne dans l'alignement du tube



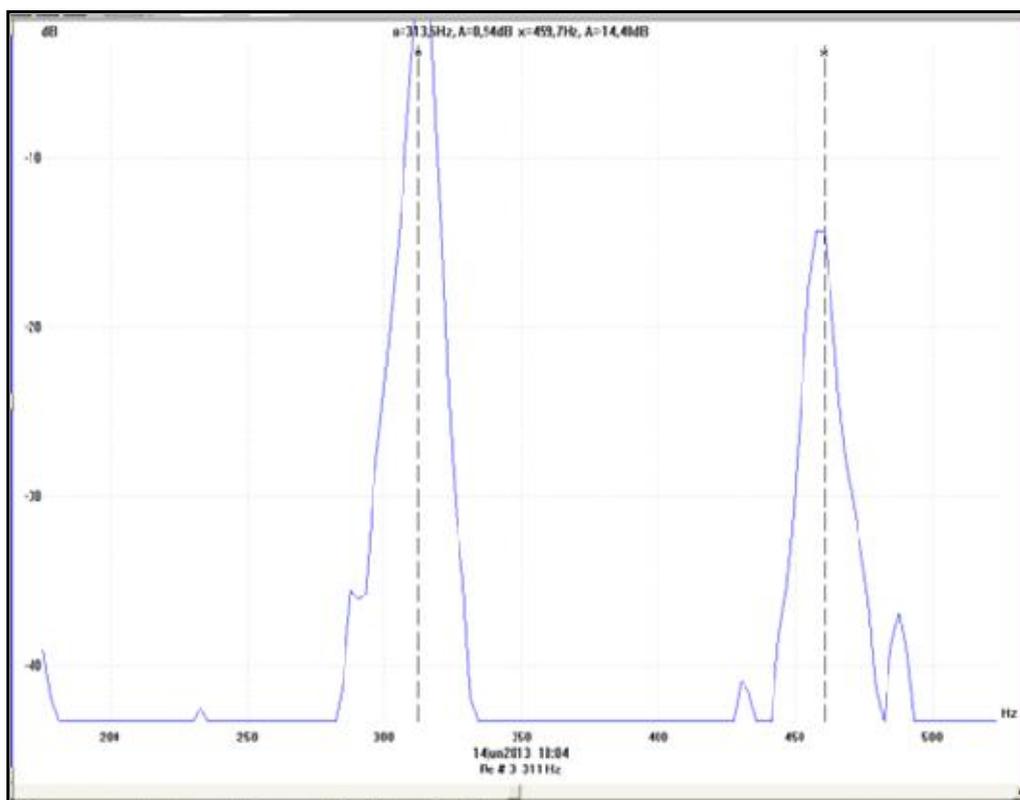
Soudure de l'opercule sur le cône

Soudure du cône sur le tube



La mise en place d'**oreilles** de chaque coté de la bouche semble indispensable, en effet grâce à un analyseur de spectre il a été possible de mettre en évidence leur rôle prépondérant dans l'obtention d'une plus grande pureté du son fondamental. Elles permettent également de corriger légèrement l'accord.(voir chapitre précédent)

La présence de **dents** au niveau de la lumière fait l'objet de nombreuses considérations dans la littérature concernant les tuyaux d'orgue. L'analyseur de spectre ne permet pas de mettre en évidence une quelconque modification du régime des harmoniques. Nous pensons (ce qui est une observation purement personnelle) que leur rôle consiste à créer au moment de l'arrivée d'air dans la lumière, une légère turbulence qui facilite et accélère la mise en régime de la lame d'air génératrice du son.



Le présent spectre met en évidence le réglage parfait d'un tuyau avant son accord final en Ré # 3 :311 hertz l'harmonique paire 622 hertz.

A ce stade de fabrication il est utile de rappeler les règles de construction des tuyaux en métal telles qu'elles sont décrites par Don BEDOS chapitre 10 page 425 du traité:

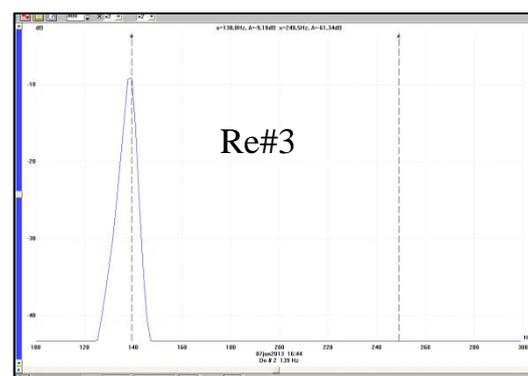
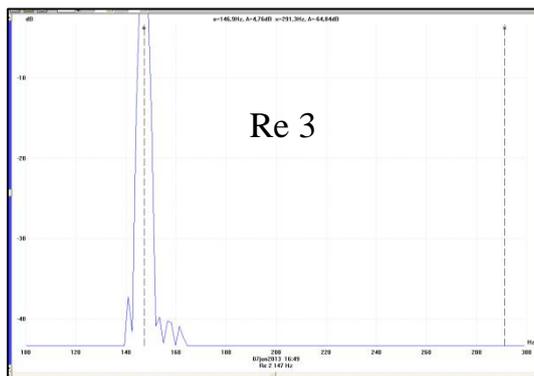
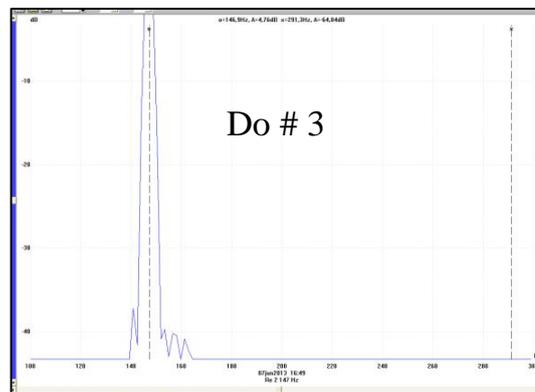
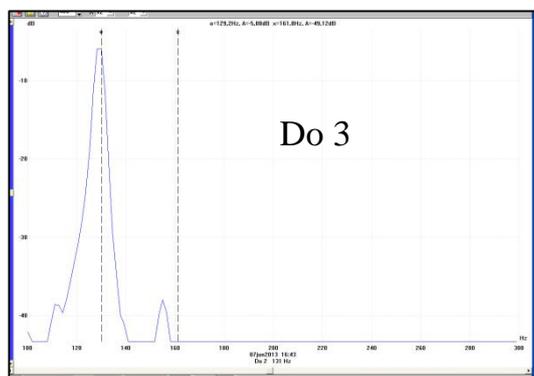
Pas de son	Vent mal dirigé En baissant le biseau vent en dedans En rehaussant le biseau vent en dehors
Biseau trop bas	Le tuyau octavie
Taille de la lumière	Trop étroite pas d'harmonique son sec Trop large le tuyau souffle
Bouche trop étroite	Le tuyau octavie
Tardif à "parler"	La lame de vent ne touche pas la lèvre Lumière trop étroite
Le tuyau octavie	Lèvre supérieure trop basse Lèvre supérieure trop en dehors Trop de vent
Son faible	Lumière trop fine Pas assez de vent
Le tuyau "souffle"	Lumière inégale Bouche trop large
Le son varie	Bouche irrégulière Diamètre du tuyau trop mince

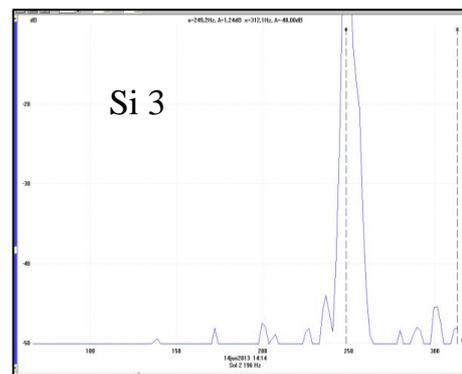
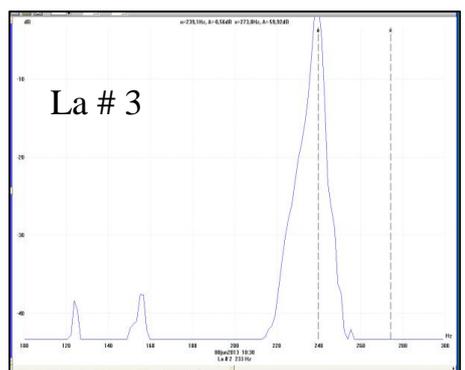
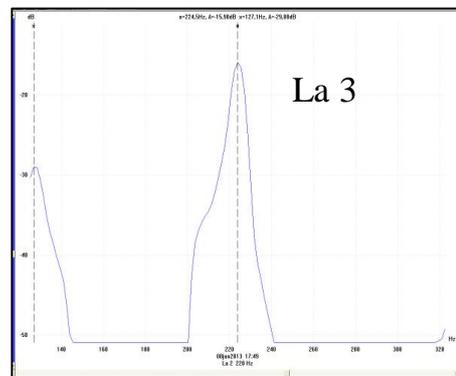
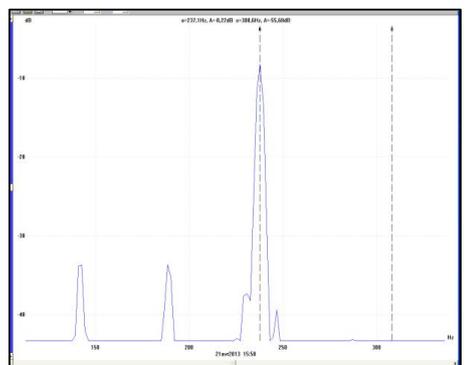
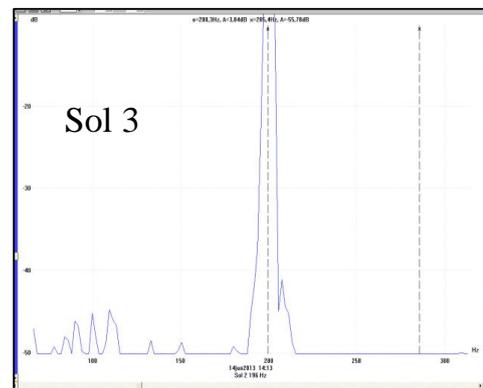
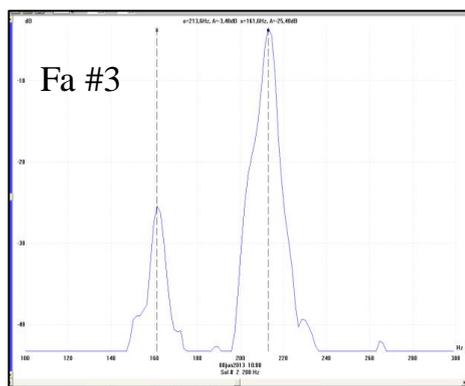
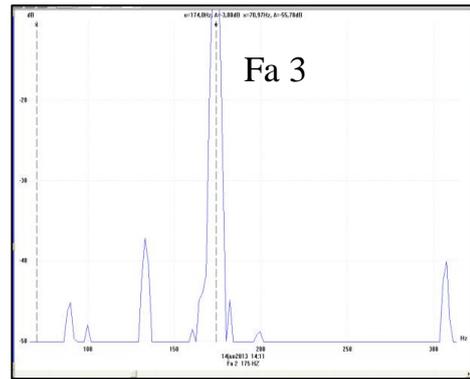
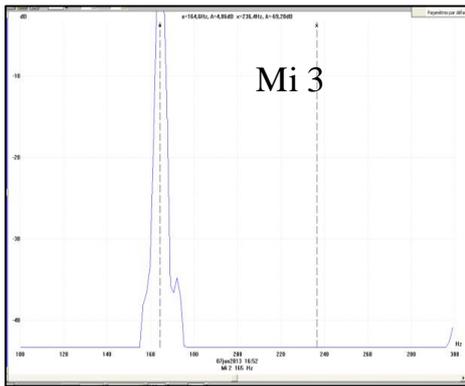
DEFINITION DES TUYAUX D'ORGUE

SPECTRES TUYAUX OCTAVE 3

Note	N° Midi	Hertz	Type	Ø mm	Long mm	H. bouche
Do	48	131	Bouché	60	598	16
Do #	49	139	Bouché	60	554	16
Re	50	147	Bouché	60	513	16
Re #	51	156	Bouché	60	492	16
Mi	52	165	Bouché	55	458	16
Fa	53	175	Bouché	55	430	16
Fa #	54	185	Bouché	55	410	16
Sol	55	196	Bouché	45	378	16
Sol #	56	208	Bouché	45	360	16
La	57	220	Bouché	45	346	16
La #	58	233	Bouché	45	320	16
Si	59	247	Bouché	40	298	12

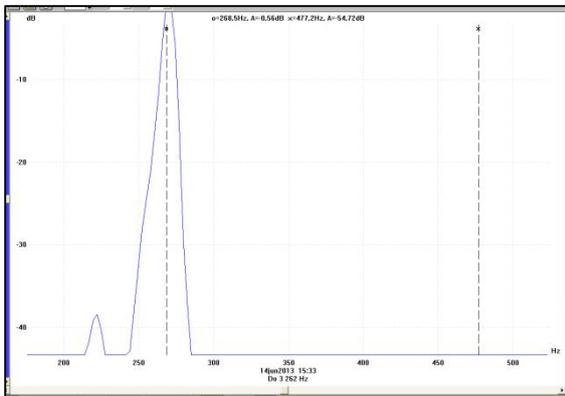
Re # 2



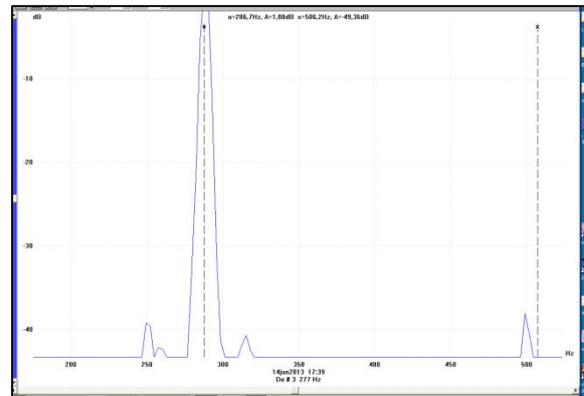


SPECTRES OCTAVE 4

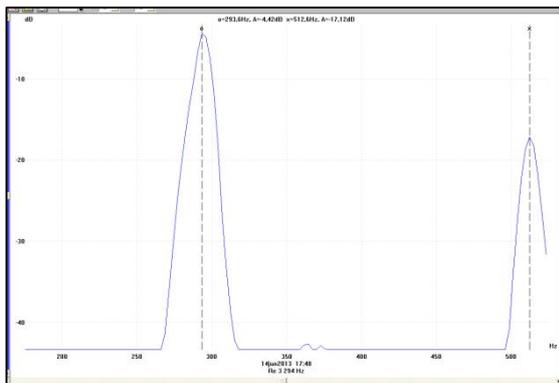
Note	N° Midi	Hertz	Type	Ø mm	Long mm	H. bouche
Do	60	262	Bouché	40	280	12
Do #	61	277	Bouché	40	265	10
Re	62	294	Bouché	40	248	10
Re #	63	311	Ouvert	37	490	9
Mi	64	330	Ouvert	37	460	9
Fa	65	349	Ouvert	37	428	9
Fa #	66	370	Ouvert	37	403	9
Sol	67	392	Ouvert	37	382	8
Sol #	68	415	Ouvert	35	358	8
La	69	440	Ouvert	35	328	7
La #	70	466	Ouvert	35	312	7
Si	71	494	Ouvert	35	288	7



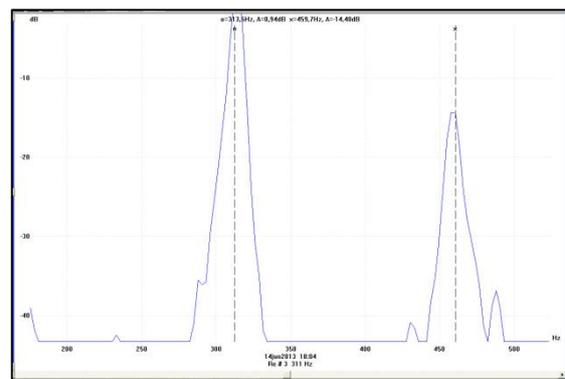
Do 4



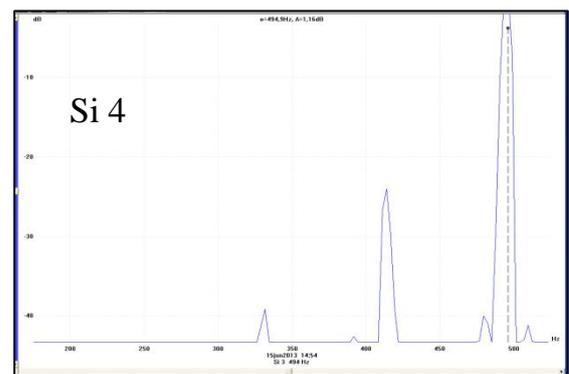
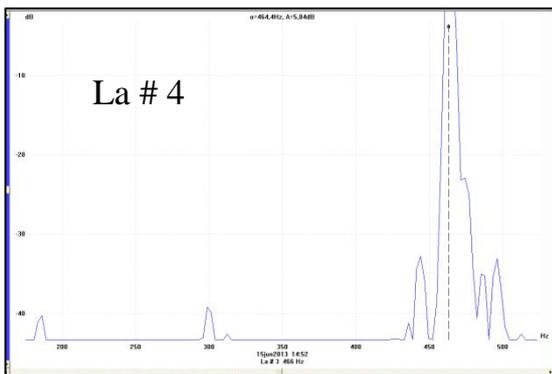
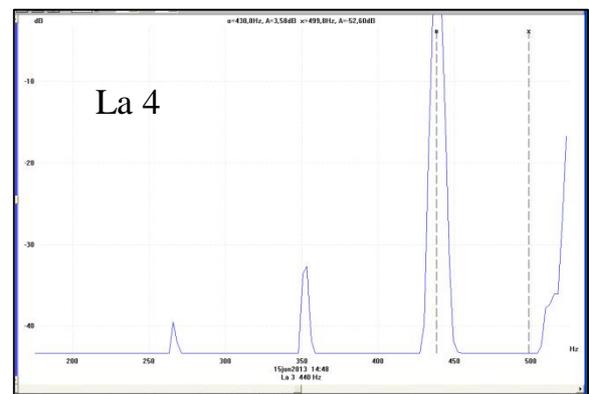
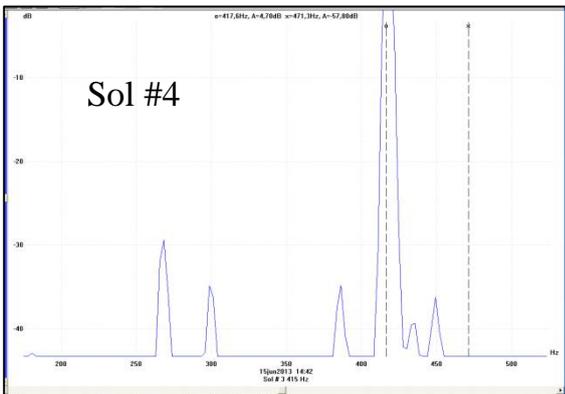
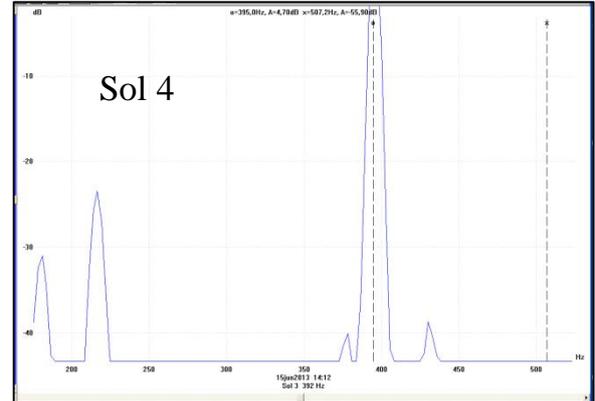
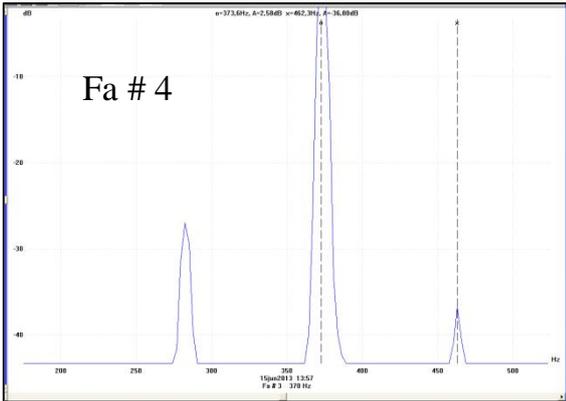
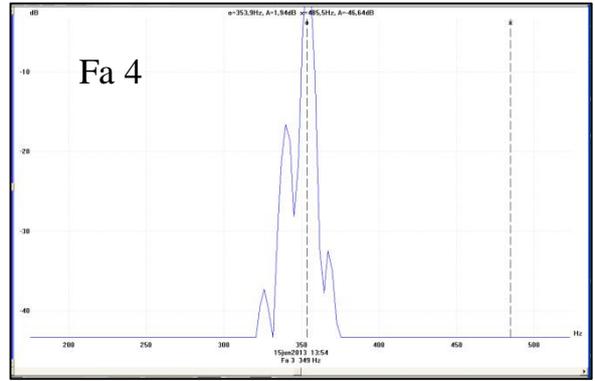
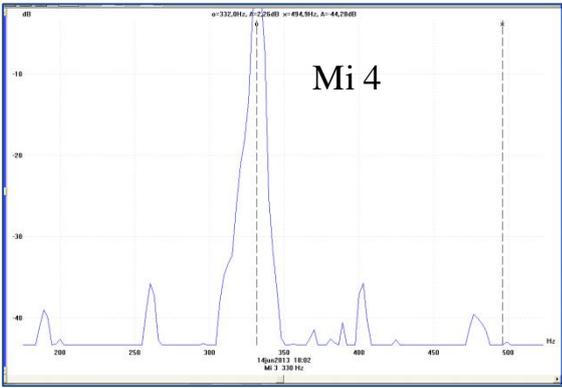
Do # 4



Re 4

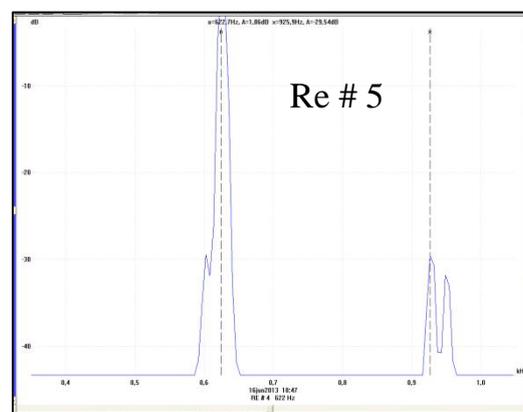
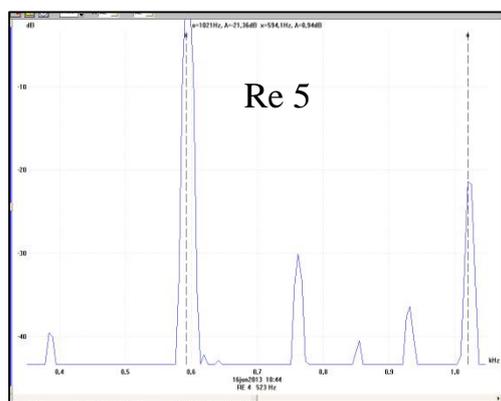
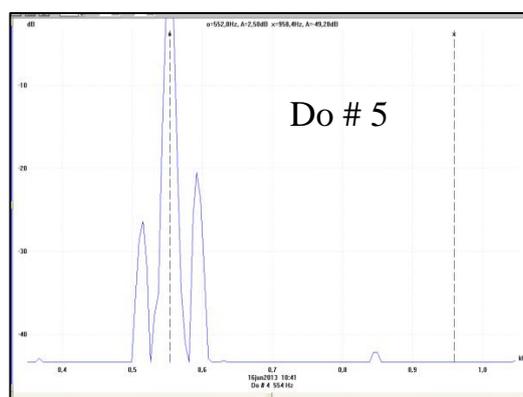
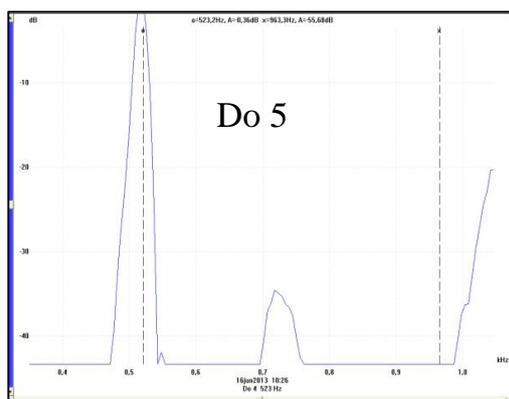


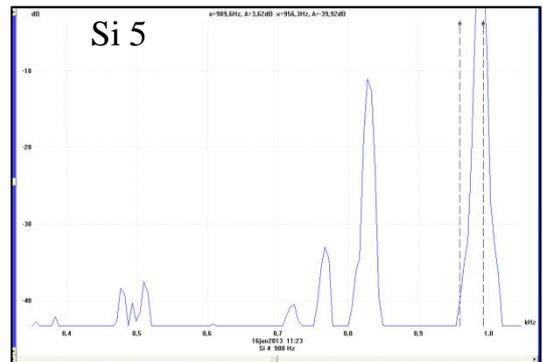
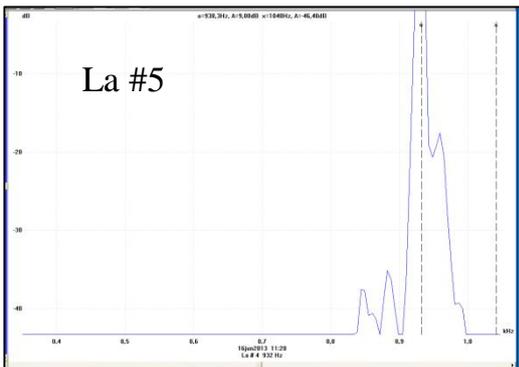
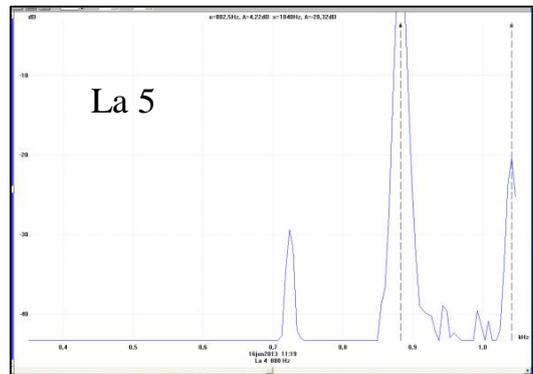
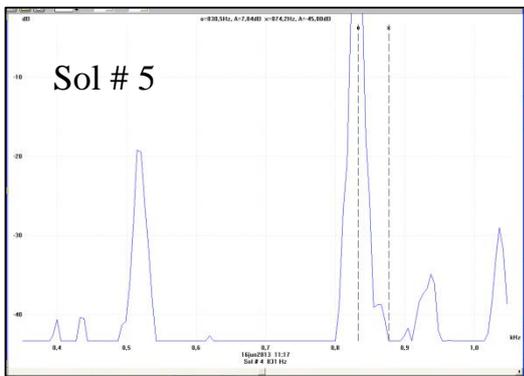
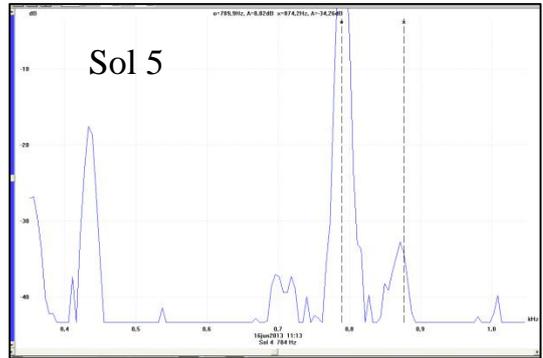
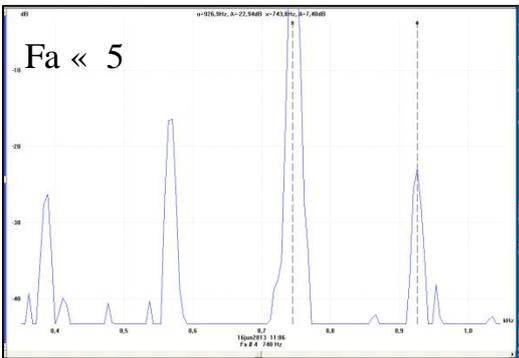
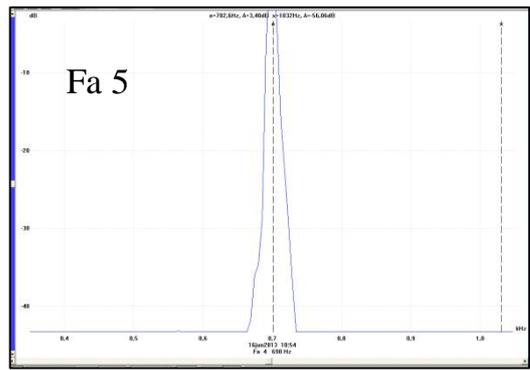
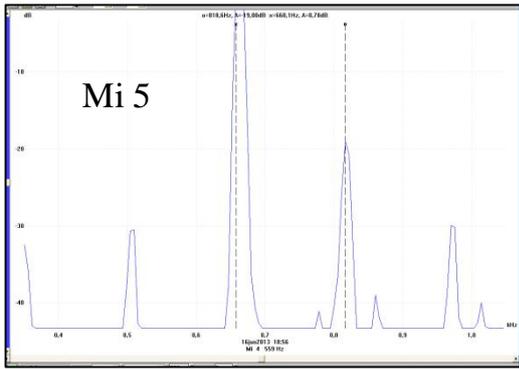
Re # 4



SPECTRES OCTAVE 5

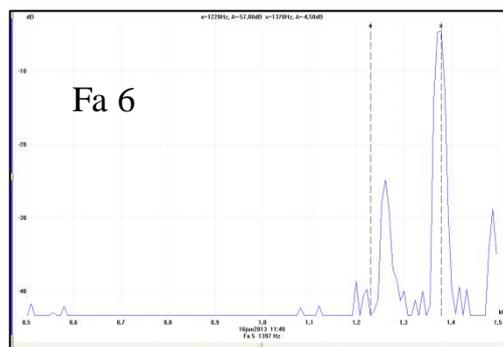
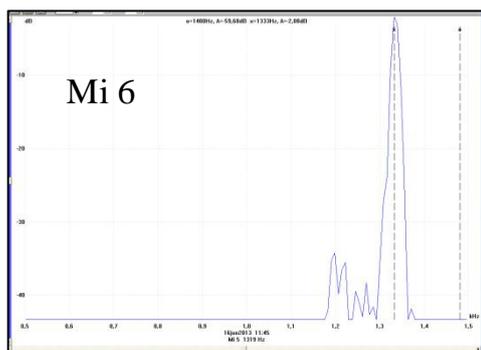
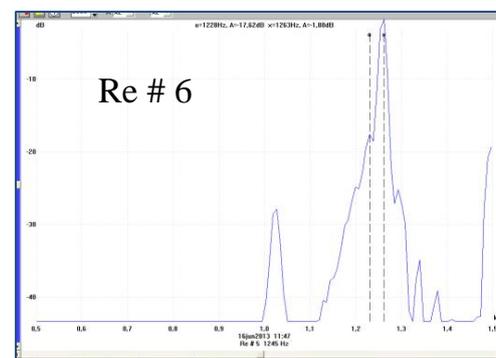
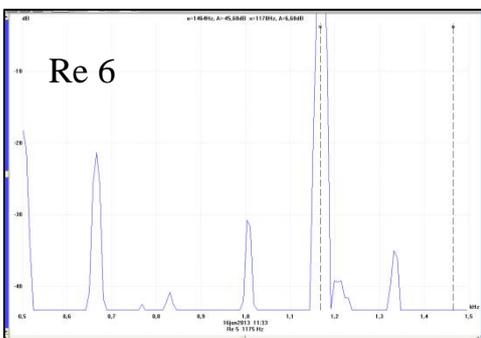
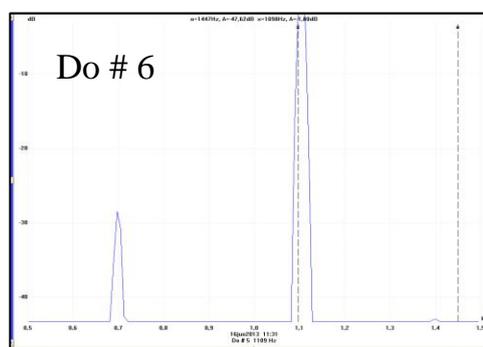
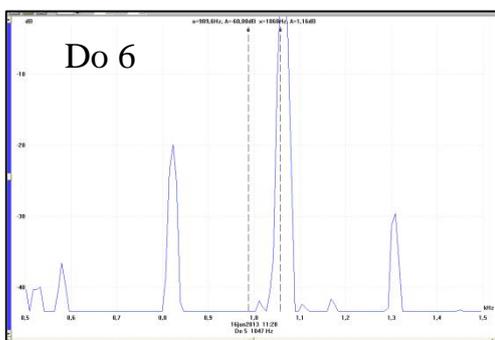
Note	N° Midi	Hertz	Type	Ø mm	Long mm	H. bouche
Do	72	523	Ouvert	35	278	7
Do #	73	554	Ouvert	30	260	6
Re	74	587	Ouvert	30	244	6
Re #	75	622	Ouvert	30	226	6
Mi	76	659	Ouvert	30	210	6
Fa	77	698	Ouvert	30	195	5
Fa #	78	740	Ouvert	28	190	5
Sol	79	784	Ouvert	28	180	5
Sol #	80	831	Ouvert	28	164	5
La	81	880	Ouvert	25	160	5
La #	82	932	Ouvert	25	145	5
Si	83	988	Ouvert	25	140	5





SPECTRES OCTAVE 6

Note	N° Midi	Hertz	Type	Ø mm	Long mm	H. bouche
Do	84	1047	Ouvert	25	123	5
Do #	85	1109	Ouvert	22	120	5
Re	86	1175	Ouvert	22	114	5
Re #	87	1245	Ouvert	18	110	4
Mi	88	1319	Ouvert	18	102	4
Fa	89	1397	Ouvert	18	95	4



L'ORGUE ET SON CHASSIS



Après la lecture de tout ce qui précède le lecteur aura compris que la construction de cet orgue à commande pneumatique est entièrement modulaire.

Il sera donc possible de construire à partir de ces éléments un ensemble plus ou moins compact. Même les éléments décoratifs sont amovibles laissant ainsi libre cours à l'imagination du constructeur.

La description qui va suivre est donc celle d'un orgue adapté à un salon, en l'occurrence le « home cinéma TV » de l'auteur.

Le châssis est en bois, il pourrait être également en profilés métalliques.

Les trois photographies suivantes montrent de type de construction, de face, de profil et arrière.



L'orgue de face avec la soufflerie et le boîtier de rangement des cartons



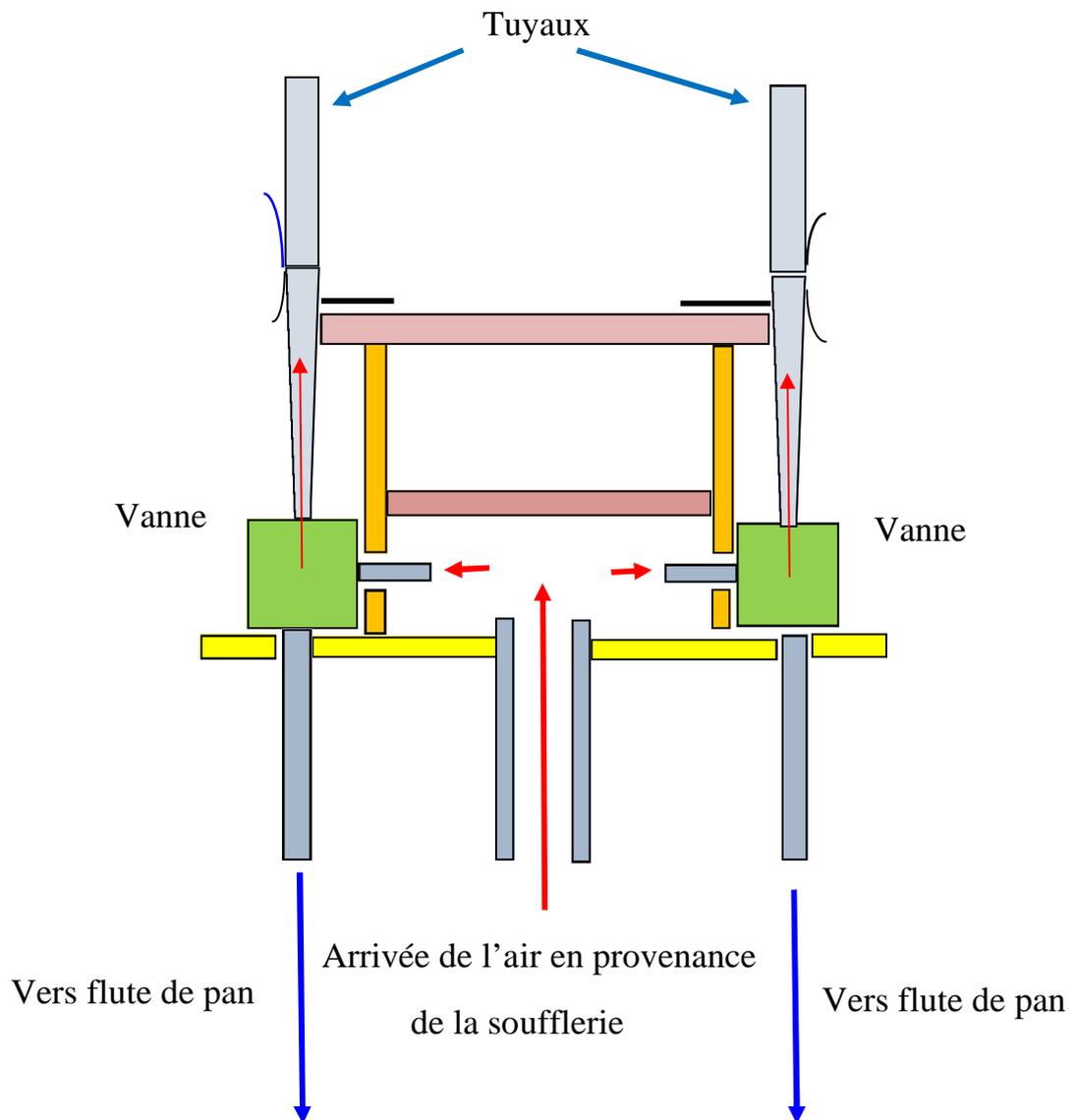


Vue coté soufflerie

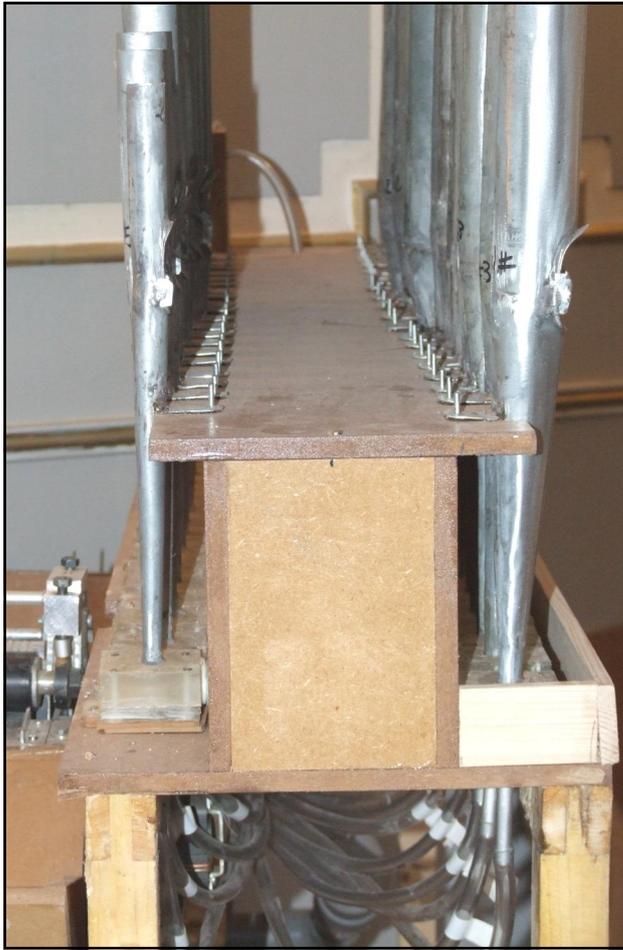


Vue arrière avec le mécanisme de la flute de pan

Le châssis est construit autour de la boîte à vent dont on trouvera ci-dessous une coupe



L'ensemble de la boîte à vent est fabriquée avec du « MEDIUM » épaisseur 10mm



Vues de la boîte à vent



LE DECORS

Le décors est certainement la phase qui peut faire l'objet de plus de critiques. En effet l'orgue sera jugé par les néophytes plus par son aspect extérieur que par la technologie qu'il renferme ou son aptitude à reproduire fidèlement une mélodie.

Considérant cet état de fait il à été décidé de créer un décors amovible sans même avoir recourt à l'emploi d'un tourne -vis.



Le style retenu est vaguement « néo-Louis XVI ». Les motifs de la décoration ont été obtenus par moulage après confection en argile.





Vue du panneau frontal amovible

