

## Flûtes harmoniques, txistus et autres galoubets

BB. Ninob, Mai 2013

*Dans cet article, on décrit le fonctionnement acoustique des flûtes harmoniques, c'est-à-dire des flûtes utilisant les partiels de rang élevé. Les principes de conception et de réalisation de ces flûtes sont discutés, avec une attention particulière sur le choix du diamètre du tube et sur les corrections d'harmonicité au niveau de l'embouchure, qui ont une importance primordiale pour la réalisation d'un bon instrument. On trouvera ici les plans de quelques flûtes harmoniques et de leurs cousines les flûtes à trois trous, avec en prime une flûte harmonique originale donnant une gamme chromatique.*

### La série harmonique

Les flûtes harmoniques ont un son fragile et éthéré qui est très séduisant dans certaines musiques « éoliennes ». Je cherche à concevoir un instrument qui possède ce caractère, en exploitant les modes supérieurs d'un tuyau à perce étroite.

Dans un premier temps, j'envisage une flûte harmonique pure, c'est à dire sans trous latéraux.

Ouverte aux deux bouts, cette flûte doit donner à peu près des pulsations multiples de la pulsation du mode fondamental  $\omega = \frac{n \cdot \pi \cdot c}{L_o}$ , où n est le rang du partial considéré, c la vitesse du son et  $L_o$  la longueur

acoustique du tuyau. Si le fondamental est le Do1 à la pulsation  $\omega_1$ , on obtient ainsi la série :

n =	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega =$	$\omega_1$	$2\omega_1$	$3\omega_1$	$4\omega_1$	$5\omega_1$	$6\omega_1$	$7\omega_1$	$8\omega_1$	$9\omega_1$
	Do1	Do2	Sol2	Do3	Mi3	Sol3	Sib3	Do4	Ré4

Cette série est harmonique dans la mesure où les fréquences des différents partiels sont multiples de la fréquence du fondamental.

Sur une flûte de taille étroite (rapport longueur sur diamètre supérieur à 40), il est souvent possible de faire sonner les huit ou neuf premiers partiels.

Pour obtenir cette série avec une bonne justesse, on peut avoir recours à un simple tuyau cylindrique ouvert aux deux extrémités. La longueur acoustique à considérer sera alors

$L_o = L_{tube} + \Delta L_{embouchure} + \Delta L_{extrémité}$ , où les  $\Delta L$  sont des corrections de longueur aux deux bouts du tuyau.

### Quel diamètre pour une bonne flûte harmonique ?

Une bonne flûte harmonique doit pouvoir faire sonner les partiels intéressants, c'est à dire ceux du rang 2 au rang 8 environ, à la fois avec une bonne justesse, et un bon contrôle. Pour la justesse des partiels, un tube cylindrique est hautement recommandé, puisque les partiels d'un tube purement cylindrique (sans embouchure, et sans dissipation d'aucune sorte) sont harmoniques.

Quel diamètre donner à la flûte harmonique ? Plus la perce sera étroite, plus les partiels d'ordre supérieur seront privilégiés, et plus l'émission des notes graves sera difficile. Plus la perce sera large, plus l'émission des notes graves sera facile, au détriment des notes aiguës.

Le choix de l'élancement du tube (ou, ce qui revient au même une fois la tessiture choisie, le diamètre du tube) résulte donc d'un compromis :

Si l'élancement est trop faible (diamètre grand), les pertes par rayonnement dominant, et la géométrie de l'embouchure perturbe l'harmonicité des partiels. Il n'y a pas d'effet coopératif entre partiels. La tessiture est limitée dans l'aigu par les pertes par rayonnement, qui amènent l'oscillation du jet d'air de l'embouchure au dessous du seuil d'auto-entretien, les partiels d'ordre supérieur ne sortent pas.

Si l'élancement est trop grand (diamètre petit), les pertes viscothermiques dominant, en particulier pour les modes de rang bas. La dissipation est trop grande, et les modes les plus graves ne sortent pas.

La figure 1 montre le coefficient de surtension des modes 2, 5 et 8 du tuyau ouvert, correspondant respectivement au bas, au milieu et au haut de la tessiture de la flûte harmonique, en fonction du diamètre du tube.

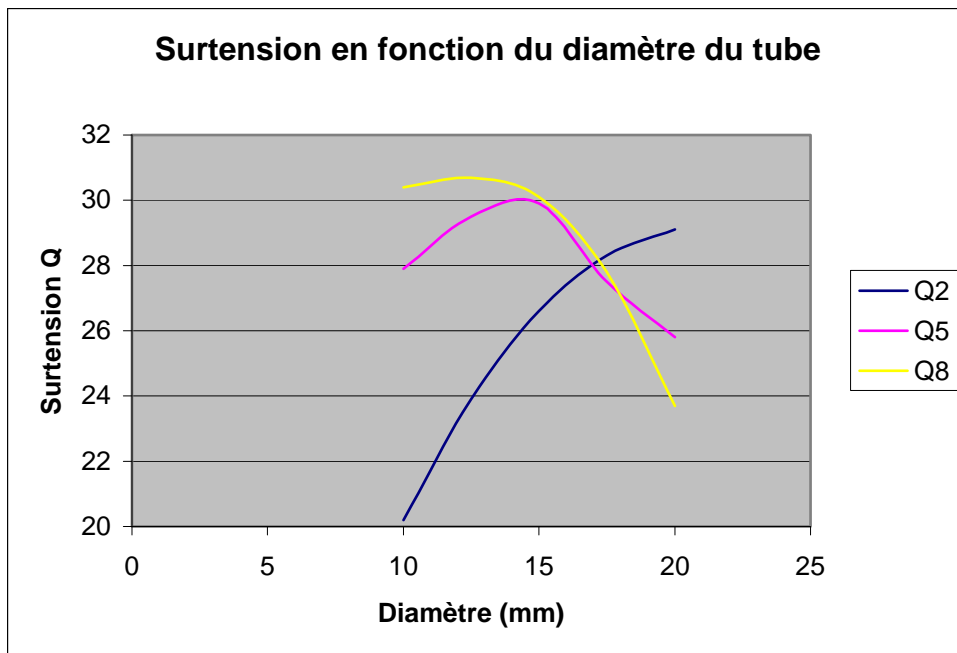


Fig. 1 : Le coefficient de surtension des modes 2, 5 et 8 d'un tuyau ouvert à parois lisses de longueur 633 mm en fonction de son diamètre, calculé avec le logiciel Tutt. Les pertes par rayonnement aux extrémités et les pertes viscothermiques ont été prises en compte. Dans le grave (pour le mode 2), les pertes viscothermiques dominent, surtout pour les tubes de petit diamètre. Dans l'aigu, les pertes par rayonnement dominent, surtout pour les tubes de grand diamètre. L'expérience montre que pour qu'un partiel puisse être émis facilement, son coefficient de surtension doit dépasser 25 environ. Si l'on veut pouvoir émettre facilement le partiel 2, il faut donc un diamètre supérieur à 13 mm. Si on veut pouvoir émettre jusqu'au partiel 8, il faut un diamètre inférieur à 18 mm. Ce genre de considérations donne la fourchette admissible pour le diamètre d'une flûte harmonique.

Il s'agira de choisir l'élançement qui donne le plus grand coefficient de surtension moyen pour les partiels d'intérêt. Pour la flûte considérée ici, un diamètre de 15 mm, correspondant à un élançement de l'ordre de 40 maximise la surtension pour le partiel 5, situé au milieu de la tessiture, et représente le meilleur compromis. On ira vers des diamètres plus petits si on veut privilégier l'aigu, plus gros si on veut privilégier le grave.

### Quelle embouchure pour une flûte harmonique ?

Un choix judicieux du diamètre de la perce ne suffit pas pour faire une bonne flûte harmonique. Un tube cylindrique ne garantit même pas l'harmonicité des partiels, car l'embouchure vient compliquer le système. Quel que soit le type d'embouchure de flûte utilisé (flûte à bec, flûte traversière, ...), le trou d'embouchure est généralement plus petit que le diamètre du tuyau : l'embouchure de la flûte correspond donc à un rétrécissement local de la perce. L'embouchure de la flûte peut être considérée comme acoustiquement équivalente à un tuyau à cheminée (la cheminée étant le trou d'embouchure) sur lequel serait greffé un trou latéral fermé (le bout mort) (fig.2).

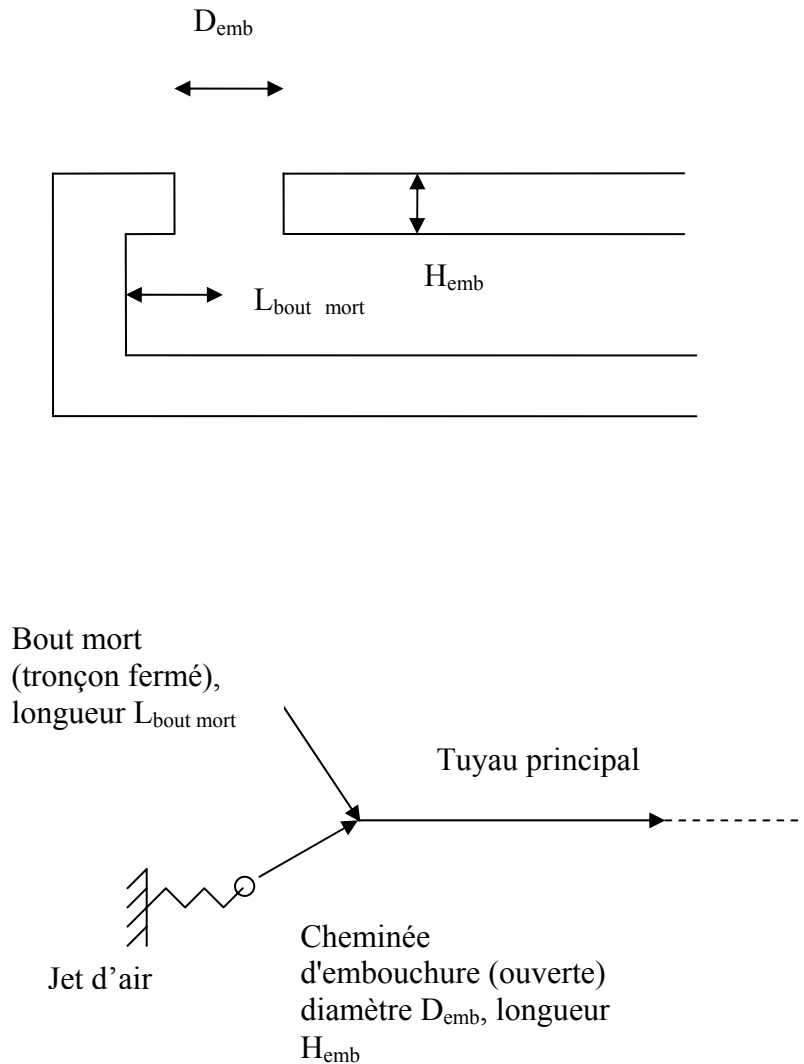


Fig. 2 : Le schéma-type de l'embouchure de flûte, et le schéma acoustique équivalent. Toutes les flûtes (à bec, traversières, obliques, à encoche, etc...) peuvent être caractérisées par trois paramètres principaux :

- 1) le diamètre équivalent de la cheminée d'embouchure (le trou d'embouchure peut être rond ou rectangulaire ; le diamètre équivalent est le diamètre du trou rond de même surface).
- 2) la hauteur de la cheminée d'embouchure (souvent égale à l'épaisseur de la paroi du tube de la flûte) ;
- 3) la longueur du bout mort, distance entre le bouchon et le milieu du trou d'embouchure.

La belle harmonicité des partiels d'un tuyau cylindrique est perturbée par cette géométrie compliquée, et par le couplage entre la colonne d'air et le jet. L'harmonicité de la flûte est seulement approximative. Elle dépend de façon irrégulière des trois paramètres principaux de l'embouchure : le diamètre équivalent de l'embouchure, la hauteur de la cheminée d'embouchure et la profondeur du bout mort. J'ai recherché comment variait l'harmonicité des partiels en fonction de ces trois paramètres, à l'aide du logiciel Tutt. Le compromis le moins mauvais semble se situer pour un diamètre équivalent d'embouchure égal à la moitié du diamètre du tube (fig 3), une hauteur de cheminée voisine de  $1/70^{\text{ème}}$  de la longueur du tube (fig. 4), et un bout mort de profondeur égale au  $1/110^{\text{ème}}$  de la longueur du tube (fig. 5). Ces caractéristiques peuvent être réalisées avec tous types d'embouchure de flûte : flûte à bec, flûte traversière, flûte à encoche (kéna) ou naï (flûte oblique).

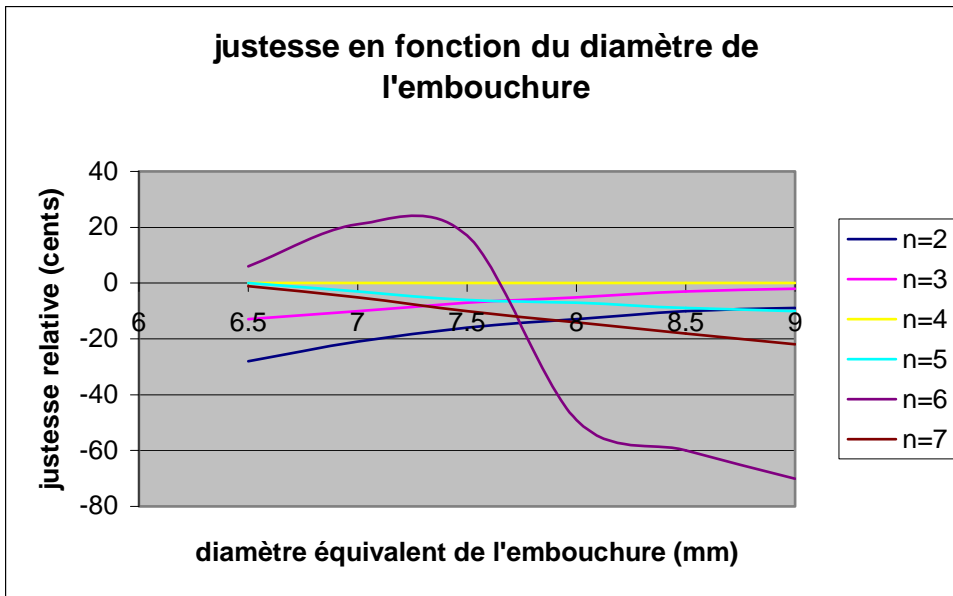


Fig. 3 : Ecart à l'harmonicité des partiels par rapport au partiel  $n = 4$  pris comme référence, pour une flûte harmonique ouverte aux deux bouts, de 633 mm de long et de 15 mm de diamètre, en fonction du diamètre équivalent de l'embouchure. Le meilleur compromis de justesse est obtenu pour un diamètre équivalent d'embouchure de 7.6 mm, soit environ la moitié du diamètre du tube.

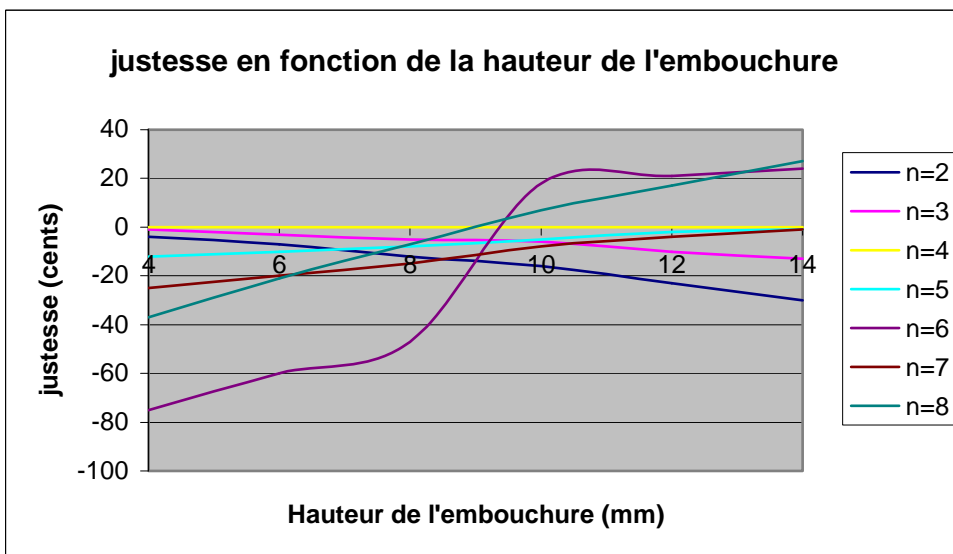


Fig. 4 : Ecart à l'harmonicité des partiels par rapport au partiel  $n=4$  pris comme référence, pour une flûte harmonique ouverte aux deux bouts, de 633 mm de long et de 15 mm de diamètre, en fonction de la hauteur de la cheminée d'embouchure. Le meilleur compromis de justesse est obtenu pour une hauteur d'embouchure voisine de 9 mm, soit environ  $1/70^{\text{ème}}$  de la longueur du tube.

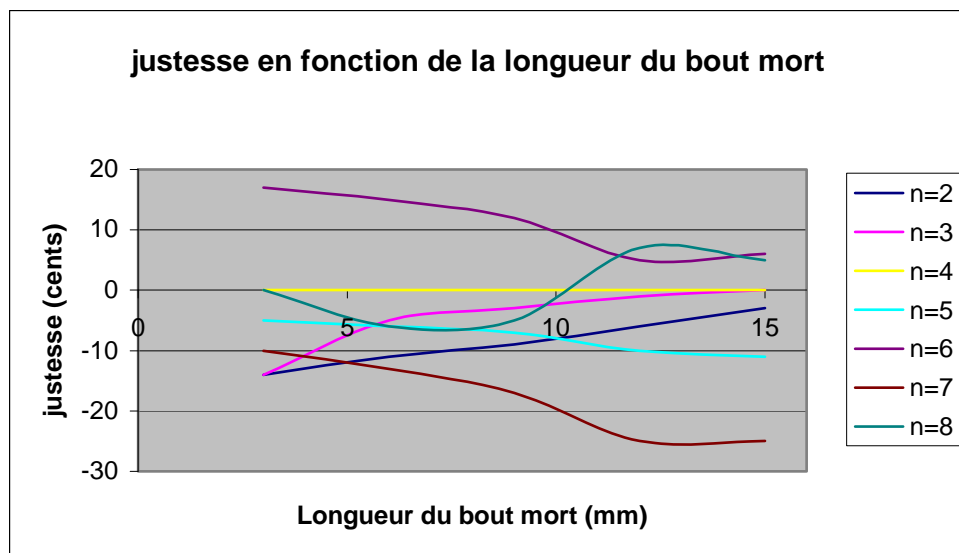


Fig. 5 : Ecart à l'harmonicité des partiels par rapport au partiel  $n = 4$  pris comme référence, pour une flûte harmonique ouverte aux deux bouts, de 633 mm de long et de 15 mm de diamètre, en fonction de la longueur du bout mort. Le meilleur compromis de justesse est obtenu pour une longueur de bout mort de 5.5 mm, soit environ  $1/110^{\text{ème}}$  de la longueur du tube. On remarque que cette position du bout mort de la flûte harmonique est beaucoup moins enfoncée que sur une flûte traversière ordinaire, qui joue seulement sur les quatre premiers partiels.

Un autre critère requis pour une bonne flûte harmonique est la capacité de sélectionner les partiels « au souffle », avec un bon contrôle de l'émission. Il faut trouver le bon degré de stabilité pour l'émission : ni trop stable, sans quoi il serait difficile de changer de partiel, ni trop instable, sinon tout contrôle serait impossible. Pour que les partiels ne se mélangent ni ne roulent, on a vu ailleurs (cf l'article « changement de partiels et stabilité d'émission ») que les partiels devaient être légèrement plus espacés (au moins de quelques cents) que la série harmonique. Ce critère est évidemment contradictoire avec une bonne justesse de l'instrument, mais l'expérience montre que des écarts de justesse de l'ordre de 10 à 15 cents restent tolérables musicalement. Il semble que ce soit le prix à payer pour avoir une flûte contrôlable !

### Compléter la série harmonique en bouchant le bas de la flûte

Avec la série harmonique « tuyau ouvert » ci-dessus, on peut faire de la musique militaire, mais c'est un peu pauvre. Il vient rapidement l'idée de boucher le tuyau à son extrémité inférieure pour enrichir la gamme. Fermée en bas, la flûte doit donner à peu près des pulsations multiples impaires de la demi-pulsation du

mode fondamental  $\omega = \frac{(2n+1)\pi.c}{2.L_f}$ , où  $L_f$  est, là encore, la longueur acoustique du tuyau, qui vaut cette

fois

$$L_f = L_{\text{tube}} + \Delta L_{\text{embouchure}}$$

Si la longueur acoustique du tuyau fermé  $L_f$  était exactement égale à la longueur acoustique du tuyau ouvert  $L_o$ , le tuyau fermé donnerait la série :

n =	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega =$	$1/2\omega_1$	$3/2\omega_1$	$5/2\omega_1$	$7/2\omega_1$	$9/2\omega_1$	$11/2\omega_1$	$13/2\omega_1$	$15/2\omega_1$	$17/2\omega_1$
	Do0	Sol1	Mi2	Sib2	Ré3	Fa#3	La3	Si 3	Do#4

En combinant les notes « tuyau ouvert » et les notes « tuyau fermé », on aurait donc une flûte capable de produire une gamme diatonique presque complète sur deux octaves (entre Do2 et Ré4) par alternance de doigtés « extrémité bouchée » et « extrémité ouverte » : la flûte idéale pour manchots, qui se joue avec un seul doigt !

Hélas, il y a un hic : la longueur acoustique  $L_f$  est légèrement plus courte que  $L_o$ , à cause de la correction de longueur au bas du tube. Résultat : les notes de la série « tuyau fermé » sont un peu plus hautes que celles de la série « tuyau ouvert ». L'écart de justesse n'est pas catastrophique, de l'ordre de 25 cents pour un tuyau de

633 mm de long, et de diamètre 15 mm, et certaines flûtes harmoniques, faites dans un simple tuyau cylindrique, sont utilisées musicalement en ouvrant ou fermant le bas du tube. Pour les âmes poétiques, les écarts de justesse contribuent à la magie de la musique produite.

Cependant, même les poètes peuvent avoir des penchants d'ingénieurs, et une petite astuce permet de corriger le défaut de justesse entre les partiels « ouverts » et les partiels « fermés » : il suffit de percer dans le bas du tube, désormais bouché par un bouchon permanent, un trou latéral placé à un endroit tel que les deux longueurs acoustiques « tuyau ouvert » et « tuyau fermé » soient égales (fig.6).

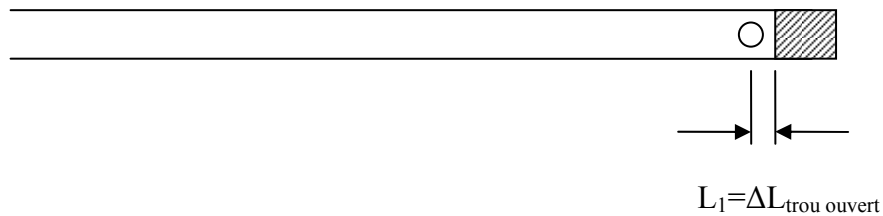


Fig. 6 : La compensation de la correction de longueur à l'extrémité inférieure permet de donner une gamme plus juste à la flûte harmonique « à un trou ».

Pour que la compensation soit à peu près exacte, il faut que la distance  $L_1$  entre le centre du trou et le bouchon soit égale à la correction de longueur au trou ouvert. Cette correction dépend du diamètre du trou et de la hauteur de la cheminée (c'est à dire de l'épaisseur de la paroi du tube). Pour un tuyau à parois minces,  $\Delta L_{\text{trou ouvert}}$  vaut à peu près le diamètre du trou, une fois additionnées les corrections de longueur intérieure et extérieure.

Voici-dessous les plans d'une bonne flûte harmonique construite pour jouer une gamme fondée sur la fondamentale de Do (fig. 7). L'embouchure est une embouchure de flûte à bec.

Longueur totale du tube	$L = 623\text{mm} + L_1 = 633 \text{ mm}$
Diamètre du tube	$D = 15 \text{ mm}$
Diamètre du trou latéral	$DT = 10 \text{ mm}$
Position du trou latéral	$L_1 = 10 \text{ mm}$ du bouchon d'extrémité
Diamètre équivalent du trou d'embouchure	7.6 mm
Hauteur du trou d'embouchure	$H = 9.0 \text{ mm}$
Distance lumière-biseau	$LA = 7.0 \text{ mm}$
Largeur de la fenêtre d'embouchure	$G = 6.5 \text{ mm}$
Longueur du bout mort (à partir du milieu de la fenêtre d'embouchure)	$B = 5.5 \text{ mm}$

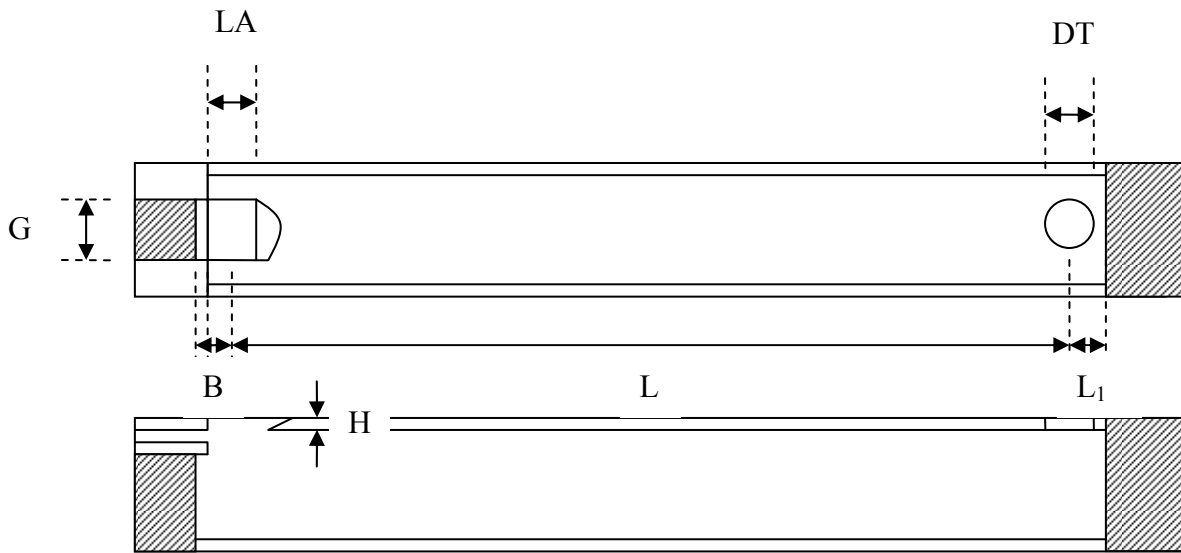


Fig. 7 : Le schéma et les dimensions d'une flûte harmonique construite sur une fondamentale de do. Le schéma n'est pas à l'échelle.

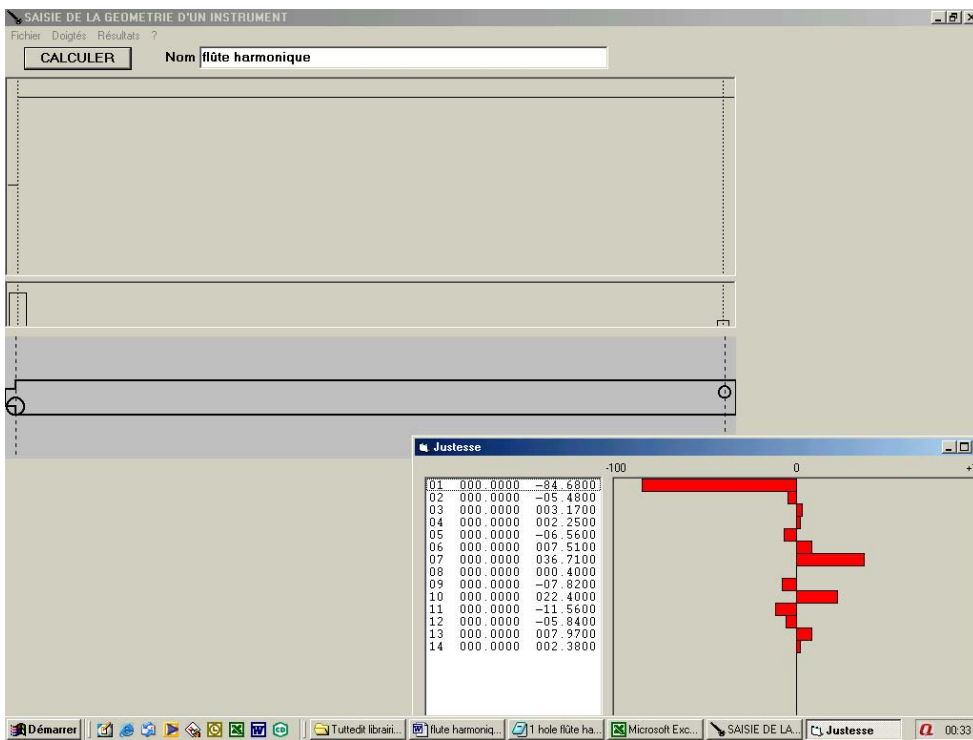


Fig. 8 : La justesse de la flûte harmonique ci-dessus, calculée avec le logiciel Tutt. Les effets viscothermiques sur la constante de propagation du son dans les tuyaux étroits ont été pris en compte, ainsi que le couplage entre le jet d'air et le tube.

Sur toutes les flûtes, l'état de surface de la perce a une importance primordiale, car les pertes viscothermiques en dépendent. C'est encore plus vrai pour une flûte harmonique, dont la perce est étroite, et qui présente donc beaucoup de surface de paroi pour peu de volume d'air. Les proportions de la flûte données ci-dessus sont celles d'une flûte à parois lisses.





Diamètre équivalent du trou d'embouchure	6.44 mm
Hauteur du trou d'embouchure	2.5 mm
Distance lumière-biseau	5.0 mm
Largeur de la fenêtre d'embouchure	6 mm
Longueur du bout mort (à partir du milieu de la fenêtre d'embouchure)	2 mm

Fig. 9 : Les dimensions d'un « tabor pipe » en ut, et la justesse de l'instrument, calculée avec le logiciel Tutt.

Toutes les flûtes à trois trous n'ont pas la gamme du tabor pipe donné en exemple ci-dessus. Par exemple, sur le galoubet « moderne », le débouchage successif des trois trous donne des intervalles de 1, 1 et 1 ton, ce qui enrichit la gamme. La table des doigtés devient alors la suivante (à une transposition près, selon la tonalité de l'instrument) :

Do2	Ré2	Mi2	Fa#2	2 <sup>nd</sup> partiel
Sol2	La2	Si2	Do#3	3 <sup>ème</sup> partiel
Do3	Ré3	Mi3	Fa#3	4 <sup>ème</sup> partiel
Sol3				5 <sup>ème</sup> partiel
X	X	X	O	
X	X	O	O	
X	O	O	O	

La table des doigtés d'une flûte à trois trous en ut, avec un étagement de (1, 1, 1) ton. Bien que la note fondamentale du tuyau soit un Do comme pour le tabor pipe anglais de l'exemple précédent, on dispose ici d'une gamme diatonique de Ré, avec quelques notes en plus permettant de moduler en Do.

Autre exemple, sur les txistus et txirulas basques, le débouchage successif des trois trous donne des intervalles de 1, 1/2 et 1 ton. La table des doigtés devient alors la suivante (à une transposition près, selon la tonalité de l'instrument) :

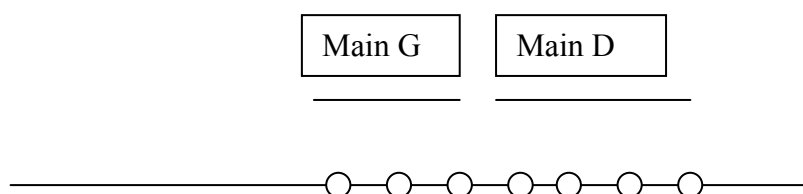
Do2	Ré2	Mib2	Fa2	2 <sup>nd</sup> partiel
Sol2	La2	Sib2	Do3	3 <sup>ème</sup> partiel
Do3	Ré3	Mib3	Fa3	4 <sup>ème</sup> partiel
Sol3				5 <sup>ème</sup> partiel
X	X	X	O	
X	X	O	O	
X	O	O	O	

La table des doigtés d'une flûte à trois trous en ut, avec un étagement de (1, 1/2, 1) ton. Bien que la note fondamentale du tuyau soit un Do comme pour le tabor pipe anglais de l'exemple précédent, on dispose ici d'une gamme de Sib.

## Compléter la gamme de la flûte harmonique

La flûte harmonique décrite dans la première section de cet article est jouable à un doigt, et possède une gamme incomplète. Les flûtes à trois trous décrites dans la deuxième section sont des instruments traditionnels diatoniques, jouables à une main, et dont la gamme est elle aussi incomplète. Il est tentant de faire sauter ces limitations et de concevoir une flûte harmonique jouable à deux mains (tant pis pour le tambour) : si on dote la flûte harmonique de nombreux trous latéraux, les registres supérieurs se recourent, ce qui offre la perspective de faire un instrument chromatique sans mécanisme.

On choisit de faire fonctionner l'instrument sur les modes  $n = 2$  (à une pulsation  $\omega_2$  égale à 2 fois la fréquence  $\omega_1$  du mode fondamental),  $n = 3$  ( $\omega_3 = 3 \omega_1$ ) et  $n = 4$  ( $\omega_4 = 4 \omega_1$ ), et de mettre des trous latéraux larges étagés par demi-tons successifs. Les trous latéraux doivent être larges pour préserver l'harmonicité des partiels, mais cependant assez petits pour pouvoir être bouchés commodément sans clés. Des trous de 10 mm de diamètre représentent un compromis acceptable. Inutile de compter sur des doigtés de fourche pour faire les demi-tons : ceux-ci marcheraient très mal sur un instrument à trous larges et perce étroite. Toujours pour préserver l'harmonicité des partiels, les cheminées latérales seront aussi basses que possible, ce qui conduit à utiliser un tube à parois minces. Sept doigts sont utilisables pour boucher sept trous latéraux, sans compter le pouce gauche. La table des doigtés de l'instrument est simple :



Do2	Do#2	Ré2	Ré#2	mi2	Fa2	Fa#2	Sol2	2 <sup>nd</sup> partiel
Sol2	Sol#2	La2	La#2	Si2	Do3	Do#3	Ré3	3 <sup>ème</sup> partiel
Do3	Do#3	Ré3	Ré#3	Mi3	Fa3	Fa#3	Sol3	4 <sup>ème</sup> partiel
X	X	X	X	X	X	X	O	
X	X	X	X	X	X	O	O	
X	X	X	X	X	O	O	O	
X	X	X	X	O	O	O	O	
X	X	X	O	O	O	O	O	
X	X	O	O	O	O	O	O	
X	O	O	O	O	O	O	O	

*La table des doigtés de la flûte harmonique chromatique.*

Le trou latéral le plus haut n'est pas indispensable : toutes les notes de la tessiture sont jouables en le laissant fermé. Ce trou peut cependant avoir son utilité car il multiplie les possibilités de doigtés alternatifs.

Le registre fondamental est si faible qu'il est difficilement utilisable. Je ne l'ai même pas mentionné dans la table de doigtés ci-dessus. Si on se limite aux trois registres ci-dessus (exploitant les partiels de rang 2 à 4), l'instrument aura une étendue d'une octave et une quinte. Les virtuoses iront plus haut sans difficulté.

Avec la tessiture choisie, l'instrument a environ 593 mm de longueur totale. C'est le maximum acceptable du point de vue de l'ergonomie, si on veut éviter à l'utilisateur scoliose ou tendinites. Pour des tessitures plus graves, il faudra tortiller le tube. Le diamètre du tube a été choisi à 18 mm, pour maximiser la

surtension du partiel 3, situé au milieu de la tessiture. Ce diamètre est supérieur à celui de la flûte harmonique décrite dans la première section de l'article, car les partiels utilisés sont de rang plus bas.

Pour exciter cette flûte « semi-harmonique », on peut envisager diverses embouchures : flûte à bec, flûte traversière, flûte à encoche (kéna) ou naï (flûte oblique). Celle que je préfère est l'embouchure de naï (fig. 10) : la sélection des modes y est facile, et le son un peu venteux s'harmonise bien avec le caractère éolien d'un instrument fonctionnant sur ses registres supérieurs.



Fig. 10 : L'embouchure de naï. On souffle en oblique sur le bord de la cheminée. Sur l'instrument décrit ici, le diamètre du trou d'embouchure est de 11.3 mm, et la hauteur de la cheminée d'embouchure est de 7 mm.

L'embouchure de naï peut être réalisée sous forme d'une simple pièce en forme de chapeau rapportée sur le bout du tube.

Comme pour toute flûte harmonique, il est primordial de corriger soigneusement les inharmonicités de l'instrument pour avoir une bonne émission. Avec un tuyau cylindrique de diamètre 18 mm et des trous latéraux de grand diamètre percés en paroi mince, celles-ci sont faibles, et peuvent être corrigées en jouant sur le diamètre et la hauteur de la cheminée d'embouchure, ainsi que sur la longueur du bout mort. Le volume du bout mort, courte section de tube située au delà du trou d'embouchure, influe aussi sur l'harmonicité des partiels, et représente donc un paramètre utile pour les corrections d'harmonicité. Les embouchures de flûte traversière ou, dans une moindre mesure, de flûte à bec ont un bout mort clairement marqué, alors que les embouchures de kéna ou de naï ne disposent pas *a priori* de bout mort. Cependant, on peut donner à ces dernières l'équivalent acoustique d'un bout mort : sur ces embouchures, le volume du bout mort peut être vu comme un volume ajouté tout en haut de la perce (fig. 11).

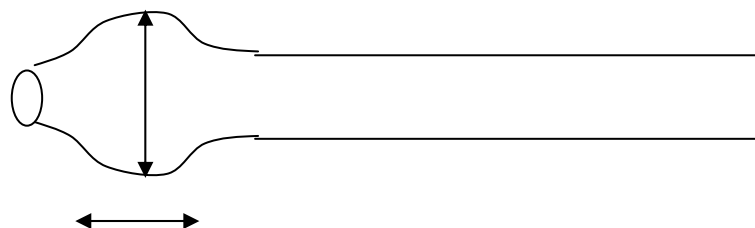
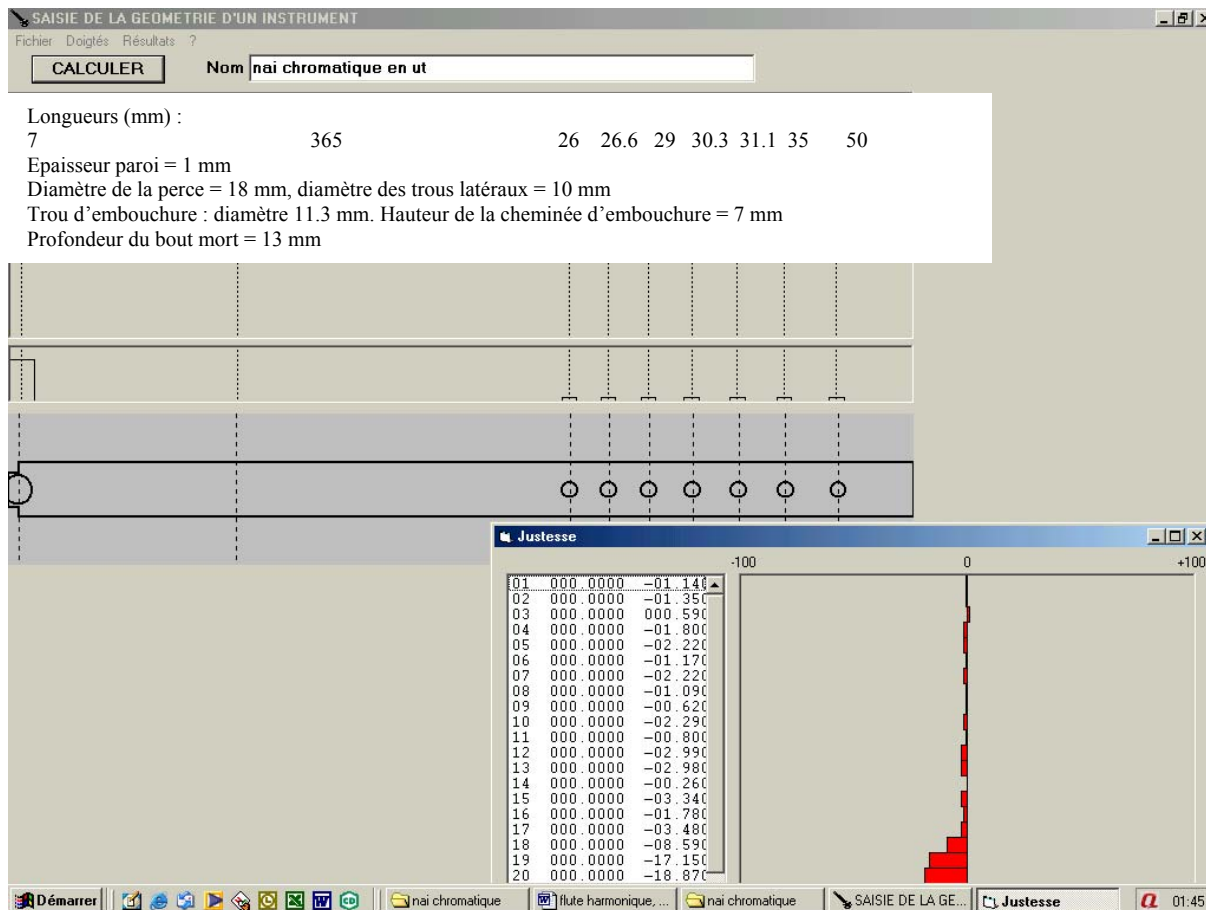


Fig. 11 : Une embouchure de naï avec l'équivalent acoustique d'un bout mort, sous forme d'un renflement de la perce au voisinage de l'embouchure. Le volume ajouté par le renflement doit être égal au volume du

bout mort. Pour la flûte donnée ici en exemple, les dimensions du renflement sont : diamètre = 27 mm ; longueur = 13 mm.

J'ai utilisé le logiciel Tutt pour corriger au mieux les inharmonicités de cette flûte, en jouant sur les paramètres géométriques de l'embouchure. Un compromis acceptable est trouvé avec un diamètre du trou d'embouchure de 11.3 mm, une hauteur de cheminée d'embouchure de 7 mm, et un volume de bout mort de 3300 mm<sup>3</sup>, correspondant à une portion de cylindre de L=13 mm x Φ= 18 mm de diamètre, ou à un renflement de 18 à 27 mm sur une longueur de 13 mm sur un tuyau de 18 mm de diamètre.

Avec ces paramètres, la justesse est bonne à 3 cents près sur les 17 premières notes de la tessiture. Dans l'aigu, la justesse se dégrade un peu, mais reste globalement excellente, à 20 cents près environ sur toute l'étendue de l'instrument.



Longueur totale du tube	7+365+26.0+26.6+29.0+30.3+31.1+35.0+50.0 mm
Diamètre intérieur du tube	18 mm
Diamètre des trous latéraux	10 mm pour tous les trous (percés en paroi mince)
Diamètre équivalent du trou d'embouchure	11.3 mm
Hauteur du trou d'embouchure	7.0 mm
Longueur du bout mort (à partir du milieu de la fenêtre d'embouchure)	13 mm

Fig. 12 : Les dimensions d'une flûte harmonique chromatique à 7 trous en ut, et la justesse de l'instrument, calculée avec le logiciel Tutt.

Cette flûte est réellement utilisable à des fins musicales. Elle est mal à l'aise dans la musique rapide ou très articulée, mais son caractère éthéré est intéressant. Son doigté sans rapport avec quoi que ce soit de connu chez les flûtistes rend son apprentissage difficile, et peut constituer une réelle barrière. Mais si on la laisse parler, si on improvise, cette flûte dit des choses intéressantes et inhabituelles !