

Régler une flûte traversière en lui trouvant une tête adaptée

BB Ninob, Mars 2023

Cet article propose un guide pour trouver une tête de flûte traversière adaptée à l'instrument et à l'instrumentiste. On discutera ici l'influence des paramètres géométriques de la tête et de son embouchure sur les caractéristiques sonores de l'instrument. On se focalisera principalement sur l'optimisation de la justesse du couple flûte-flûtiste.

Beaucoup de flûtistes sont à la recherche de la tête miraculeuse qui donnera des ailes à leur flûte. Une tête de flûte traversière étant relativement facile à fabriquer, il est tentant d'essayer d'optimiser la flûte en lui donnant une tête qui la rende aussi juste que possible. Les bénéfices d'un instrument juste vont bien au-delà de la justesse proprement dite : le timbre et la puissance de l'instrument dépendent dans une large mesure de sa justesse au sens large : si les partiels de l'instrument sont *harmoniques* (c'est-à-dire tombent à des fréquences multiples les unes des autres), les phénomènes coopératifs entre partiels favorisent l'auto-entretien du son, d'où une émission facile, un son puissant et un timbre riche.

Evacuons tout de suite *la question du matériau* de la flûte. La plupart des flûtistes sont convaincus de l'importance du matériau de leur instrument. Ce n'est pas tout à fait sans raison : il est connu qu'on peut grandement améliorer l'émission et le volume sonore d'une flûte à parois rugueuses en polissant la perce, ou en la huilant (si elle est en bois). Mais là s'arrête à peu près l'influence du matériau. Afin de ne pas avoir l'air de balayer d'un revers de main de prétendues superstitions liées au matériau de la flûte (« le buis donne un son doux, l'ébène donne un son noir, le PVC donne un son de camelote, le métal donne un son froid », etc...), j'ai étudié l'influence du couplage vibratoire paroi-colonne d'air et celle de la rugosité de la paroi dans deux articles séparés [1,2]. La conclusion de ces études est simple : un état de surface interne rugueux ternit le son. Il est défavorable à l'auto-entretien du son, et rend donc l'émission plus difficile ; un tube à parois trop faibles risque d'engendrer de graves défauts d'émission, et des trous dans le spectre sonore. Ces constatations valent pour tous les instruments à vent, mais elles sont particulièrement importantes pour les flûtes, car le mécanisme d'auto-entretien du son par un jet d'air est extrêmement fragile, et il suffit de peu de chose pour le perturber et faire taire la flûte. Ceci posé, on peut affirmer que tous les matériaux se valent à condition que le tube soit suffisamment rigide pour rendre négligeables les couplages vibratoires entre le tube et la colonne d'air, et que ses parois soient suffisamment lisses pour réduire au minimum l'amortissement viscothermique du son dans la colonne d'air. Ces deux conditions sont en général facilement satisfaites dans les cas pratiques, qu'il s'agisse d'un instrument en bois, en plastique ou en métal car il faut un tube vraiment très mince ou à parois très rugueuses pour voir se manifester des effets liés au matériau. Les seuls paramètres restant à optimiser sont alors les paramètres *géométriques* de l'instrument. Eux ont une importance primordiale ! Nous nous focaliserons ici principalement sur l'influence des paramètres géométriques de la tête sur la *justesse* de l'instrument. Celle-ci peut être grossièrement caractérisée selon trois grands axes : le *diapason*, la *largeur de la gamme* et la *largeur des octaves*.

Le *diapason* est la hauteur globale de l'instrument sur l'ensemble de sa tessiture, par rapport à un diapason de référence. Par exemple, on dira que le diapason d'un traverso baroque est autour de 410 Hz si les notes qu'il produit naturellement sont voisines de celles d'une gamme centrée autour de cette fréquence de référence. Si cet instrument est censé jouer au diapason 415, on dira qu'il a un diapason « bas ». On postule que la tête de la flûte coulisse, de sorte que l'instrument peut être mis au diapason souhaité. Si l'instrument est conçu pour un diapason vraiment plus haut ou plus bas que celui auquel on veut le forcer à jouer, cette mise au diapason se fera au prix de graves écarts sur les deux autres axes de la justesse : la largeur de la gamme et la largeur des octaves.

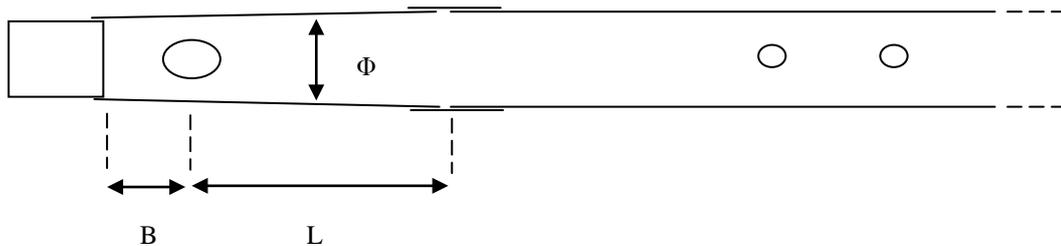
La *largeur de la gamme* est l'espacement entre les notes de base de l'instrument, c'est-à-dire les notes obtenues sur le mode fondamental en débouchant successivement les six trous latéraux principaux à partir du bas du tube. Par exemple, on dira que la gamme d'un traverso est large si son ré grave (doigté 123456) est bas, son sol grave (doigté 123) juste et son si médium (doigté 1) haut. A l'inverse, on dira que la gamme est étroite si la sixte entre le ré grave et le si médium est courte.

La *largeur des octaves* caractérise la justesse des intervalles entre le fondamental et le deuxième partiel sur les doigtés de base de l'instrument.

Il faut souligner ici que ces critères de justesse ne sont pas caractéristiques de l'instrument seul, mais du couple flûte-flûtiste. Certains flûtistes découvrent beaucoup l'embouchure ou jouent avec une grande vitesse d'air, ce qui les amène à jouer plus haut que d'autres sur la même flûte. La largeur des octaves dépend elle aussi beaucoup de l'instrumentiste. Il est donc plus exact de parler du couple flûte-flûtiste, et pas seulement de l'instrument.

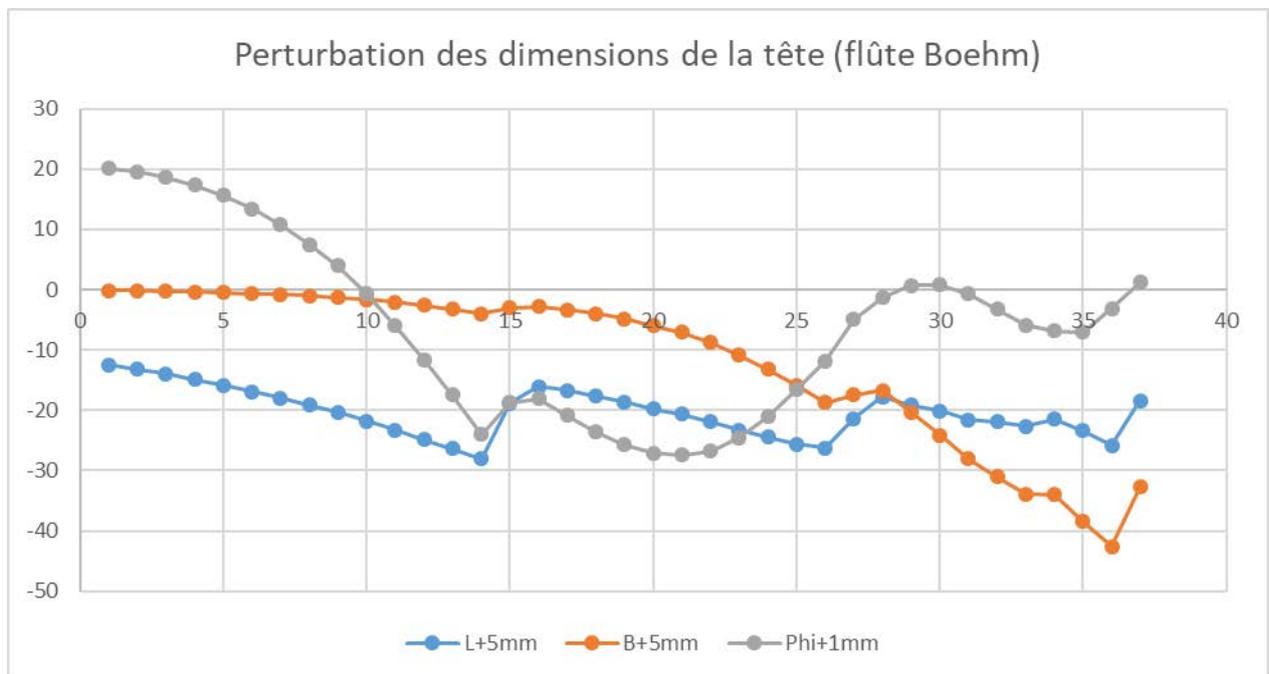
Si l'instrument et l'instrumentiste sont au bon diapason, avec la bonne largeur de gamme et des octaves justes, on a déjà une bonne base, avec des notes plutôt « en face », qui demanderont un minimum de corrections. On résume ci-dessous le moyen d'ajuster le diapason, la largeur de la gamme et la largeur des octaves d'une flûte en modifiant les paramètres géométriques de sa tête.

Les paramètres géométriques principaux qui caractérisent la géométrie de la tête de la flûte sont la longueur de la tête L , le diamètre moyen Φ du tube au niveau de la tête, et la position du bouchon B . Pour appréhender leur influence sur la justesse de l'instrument, nous ferons varier ces paramètres pendant que le corps de la flûte...et l'instrumentiste restent inchangés.



La tête de la flûte et ses paramètres

On donne ci-après l'influence d'une petite variation des paramètres géométriques de la tête sur la justesse d'une flûte. Le calcul a été fait avec le logiciel Tutt [3] pour une flûte Boehm et pour un traverso baroque sur l'ensemble de la tessiture de ces instruments. Les écarts de justesse sont exprimés en cents (1/2 ton = 100 cents).

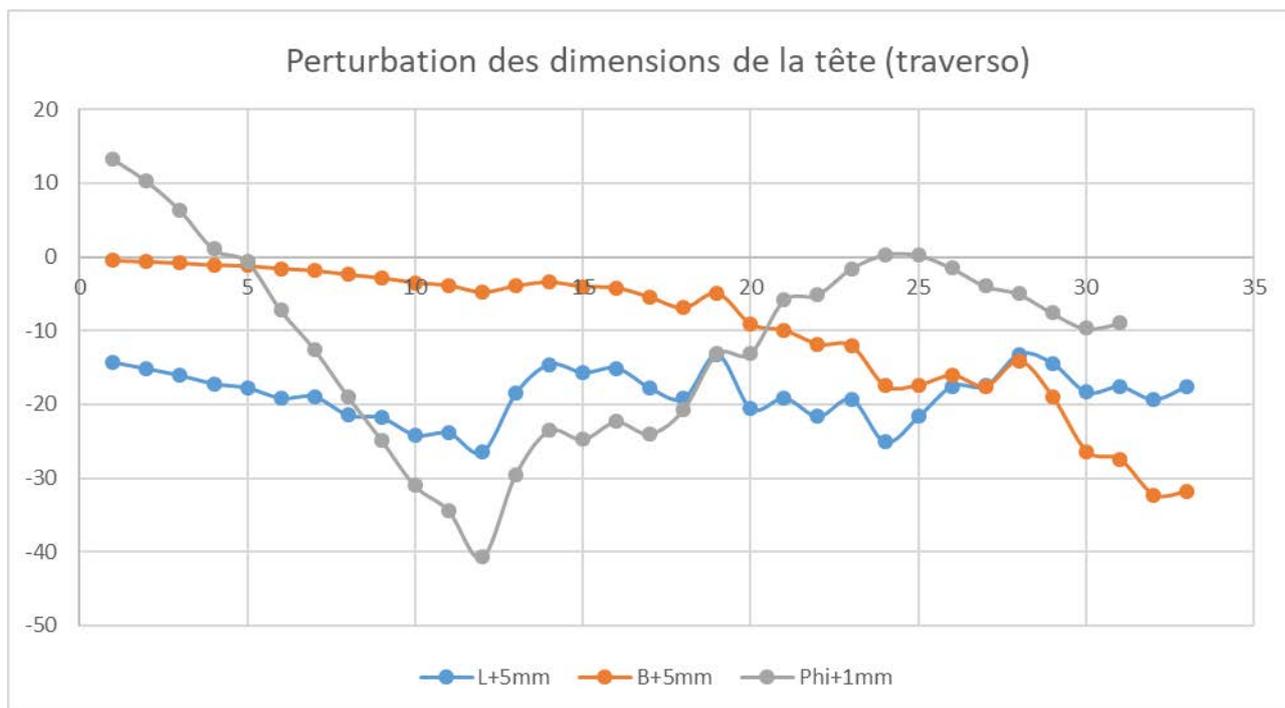


L'effet d'une perturbation des dimensions de la tête d'une flûte Boehm sur la justesse de l'instrument (exprimée en cents) sur toutes les notes de la tessiture. Les notes vont du grave à l'aigu, et sont numérotées de 1 (do grave) à 37 (do suraigu).

1 : augmenter la longueur de la tête L de 5 mm

2 : éloigner le bouchon B de 5 mm

3 : augmenter le diamètre moyen de la tête Φ de 1 mm



L'effet d'une perturbation des dimensions de la tête d'un traverso baroque sur la justesse de l'instrument (exprimée en cents) sur toutes les notes de la tessiture. Les notes vont du grave à l'aigu, et sont numérotées de 1 (ré grave) à 33 (sib suraigu).

1 : augmenter la longueur de la tête L de 5 mm

2 : éloigner le bouchon B de 5 mm

3 : augmenter le diamètre moyen de la tête Φ de 1 mm

On constate sur ces graphes que l'effet des perturbations des dimensions de la tête est à peu près le même sur une flûte Boehm et sur un traverso baroque, qui fonctionnent pourtant selon des conceptions acoustiques radicalement différentes.

On peut résumer comme suit la valeur typique des trois paramètres principaux de la tête et l'influence d'une petite variation autour de cette valeur :

La longueur typique d'une tête de flûte Boehm ou d'un traverso baroque est de 200 mm. Augmenter la longueur de la tête de 5 mm fait baisser le diapason d'environ 20 cents, et diminue la largeur de la gamme de 10 cents, sans changer la largeur des octaves.

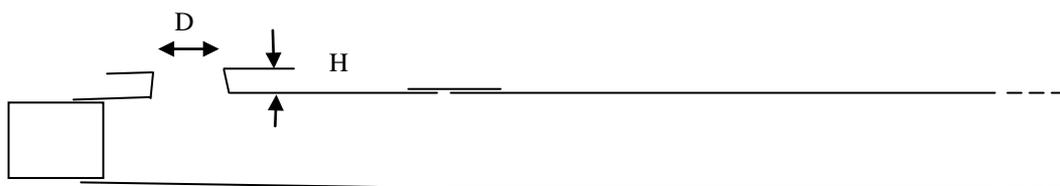
Il est en général recommandé de placer le bouchon à un diamètre de perce du centre de l'embouchure (soit environ 19 mm). Eloigner le bouchon de l'embouchure de 5 mm fait baisser le diapason de 10 cents environ, rétrécit très légèrement la gamme (3 cents) et diminue la largeur des octaves de 12 cents.

La tête d'une flûte Boehm a en général un diamètre de 19 mm, rétrécit progressivement à 17 mm au niveau de la plaque d'embouchure. La tête d'un traverso baroque est en général quasi-cylindrique, avec un diamètre de perce de l'ordre de 19 mm. Sur les deux instruments, augmenter le diamètre moyen de la tête de 1 mm ne change pas le diapason moyen, rétrécit considérablement la gamme (45 cents), rétrécit beaucoup les octaves dans le bas de la gamme et les élargit un peu dans le haut de la gamme.

On peut remarquer au passage que la largeur de la gamme est une grandeur assez sensible, qui dépend beaucoup des paramètres de la tête. Il est possible de déterminer assez précisément le diapason pour lequel une flûte a été conçue : c'est celui qui donne à la flûte une largeur de gamme juste. Dans le cas d'un instrument historique, cette détermination sera compliquée par le fait que l'instrument, en général en bois, aura pu subir au cours des âges une variation de diamètre non voulue par son concepteur, avec des conséquences sur la largeur de la gamme.

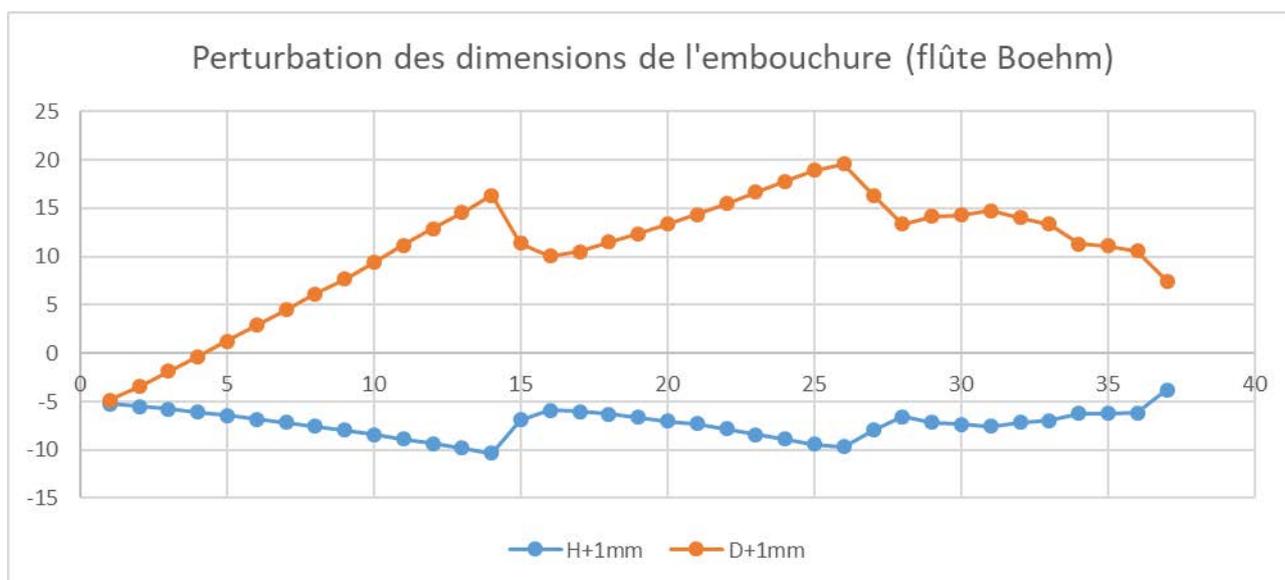
Effet des paramètres de l'embouchure

Outres les trois paramètres géométriques de la *tête de la flûte* L , B , Φ évoqués ci-dessus, on peut aussi étudier l'influence des paramètres géométriques de l'*embouchure* : diamètre moyen du trou d'embouchure D et hauteur de la cheminée H . Nous considérons ces derniers séparément, car ils n'ont pas seulement une influence sur la justesse de l'instrument, mais aussi sur la puissance sonore, la quantité d'air consommée, et l'équilibre grave-aigu de l'instrument.



L'embouchure de la flûte et ses paramètres

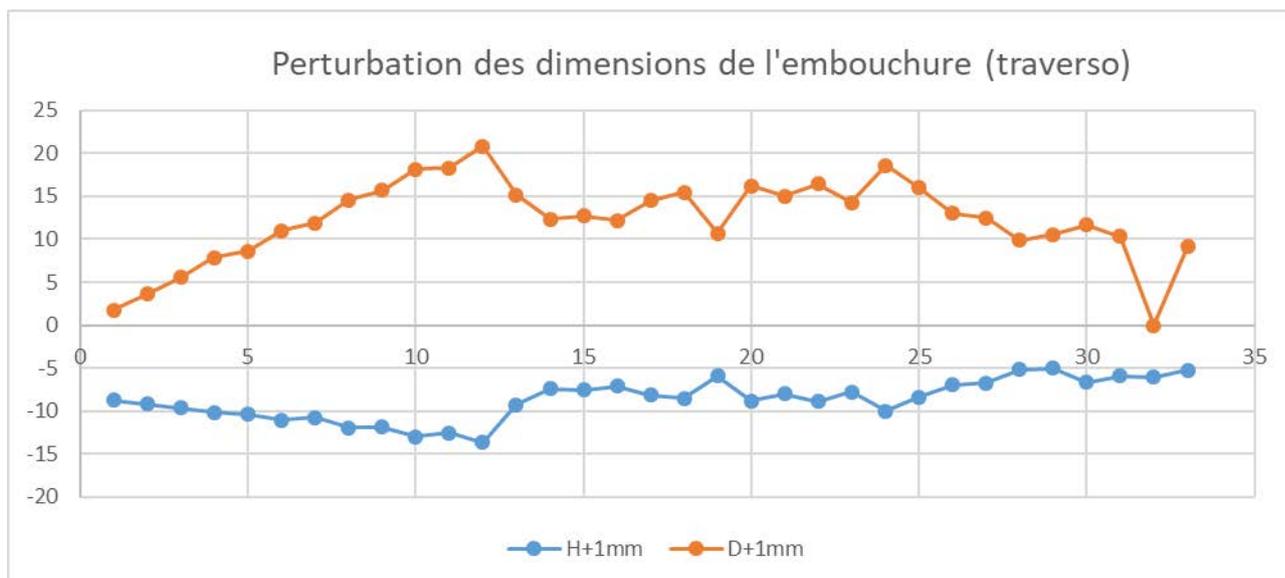
Voici le résultat du calcul, toujours avec le logiciel Tutt, sur l'influence de la hauteur de cheminée H et le diamètre moyen D du trou d'embouchure, sur une flûte Boehm et sur un traverso baroque :



L'effet d'une perturbation des dimensions de l'embouchure d'une flûte Boehm sur la justesse de l'instrument (exprimée en cents) sur toutes les notes de la tessiture. Les notes vont du grave à l'aigu, et sont numérotées de 1 (do grave) à 37 (do suraigu).

1 : augmenter la hauteur de la cheminée H de 1 mm.

2 : augmenter le diamètre moyen du trou d'embouchure D de 1 mm.



L'effet d'une perturbation des dimensions de l'embouchure d'un traverso baroque sur la justesse de l'instrument (exprimée en cents) sur toutes les notes de la tessiture. Les notes vont du grave à l'aigu, et sont numérotées de 1 (ré grave) à 33 (sib suraigu).

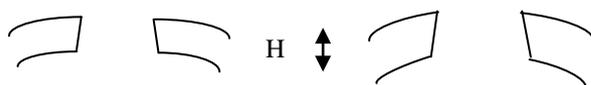
1 : augmenter la hauteur de la cheminée H de 1 mm.

2 : augmenter le diamètre moyen du trou d'embouchure D de 1 mm.

Là encore, on constate que l'effet des perturbations géométriques de l'embouchure est presque identique sur une flûte Boehm et sur un traverso baroque.

On peut résumer comme suit la valeur typique des deux paramètres principaux de l'embouchure et l'influence d'une petite variation autour de cette valeur :

La hauteur de cheminée H (ou, ce qui revient au même, l'épaisseur de la plaque d'embouchure).



Une hauteur de cheminée de 5 mm est une valeur typiquement rencontrée aussi bien sur les traversos baroques que sur les flûtes Boehm. Augmenter la hauteur de la cheminée de 1 mm fait baisser le diapason moyen d'environ 10 cents, rétrécit un peu la gamme (8 cents) et laisse à peu près inchangée la largeur des octaves.

Outre son effet sur la justesse, l'augmentation de la hauteur de cheminée facilite l'émission des graves au détriment des aigus.

Le diamètre moyen D du trou d'embouchure



Un diamètre de 9 mm est typique d'un traverso baroque, alors que les flûtes Boehm ont un trou plus large, d'un diamètre moyen d'environ 11 mm. Elargir le trou d'embouchure de 1 mm fait monter le diapason de 10 cents, élargit beaucoup la gamme (20 cents) et laisse peu près inchangée la largeur des octaves.

Outre son effet sur la justesse, l'augmentation du diamètre du trou d'embouchure grossit le son, et exige du flûtiste un débit d'air plus grand (l'instrument devient plus physique).

D'autres paramètres de l'embouchure moins facilement quantifiables jouent aussi un rôle important, non plus tellement sur la justesse, mais sur le timbre, la puissance sonore et l'équilibre grave-aigu :

La forme du trou d'embouchure



Un trou rond demande un bon centrage du jet d'air, et donne un timbre doux et...rond. Les flûtes traversières de la Renaissance et les traversos baroques ont ce type d'embouchure.

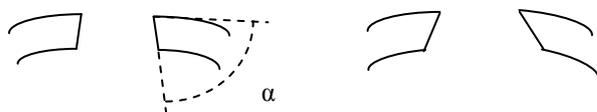
Un trou ovale donne plus de puissance et de timbre qu'un trou rond de même surface.

Un trou rectangulaire accentue encore les composantes aigües du spectre, au risque de produire un son agressif.

Un trou en forme de cœur représente un compromis intéressant, quoique peu exploré (je ne l'ai jamais vu sur d'autres flûtes que celles de ma fabrication). Cette forme donne une émission facile, avec un son bien timbré.

C'est la *surface* du trou qui détermine le diapason. Deux trous de forme différente mais de même surface auront le même diapason.

Le profil du trou, et notamment son sous-coupage selon l'axe transversal, qui détermine l'angle du biseau, a une influence sur l'équilibre grave-aigu :



Un angle de biseau α de l'ordre de 70° représente un bon compromis, typiquement rencontré aussi bien sur les traversos baroques que sur les flûtes Boehm.

Un trou faiblement sous-coupé (donc avec angle de biseau obtus) favorisera l'émission des graves, au détriment des aigus ; Un trou fortement sous-coupé (avec un angle de biseau aigu) favorisera au contraire l'émission des aigus au détriment des graves.

Le profil du biseau compte aussi :



Un biseau arrondi donnera un son plus doux et moins riche qu'un biseau coupant. Ce dernier est par contre plus susceptible de produire des sifflements parasites.

Certaines têtes ont une plaque d'embouchure localement surélevée pour donner à l'embouchure une hauteur de cheminée plus grande sur les côtés que sur ses faces avant et arrière. Cette géométrie dite « à moustaches » stabilise l'émission des notes graves, mais rend plus difficile l'émission des notes aigües.

Résumé

On peut résumer les remèdes aux défauts de justesse de l'instrument dans le grand tableau suivant, dans lesquels on s'autorise des remèdes portant sur la tête de la flûte, sur sa longueur L , son diamètre moyen Φ et la position du bouchon B :

	Octaves étroites	Octaves justes	Octaves larges
Diapason bas	Si la gamme est large, raccourcir L , diminuer Φ . Si la gamme est juste, raccourcir L , rapprocher le bouchon et diminuer Φ . Si la gamme est étroite, rapprocher le bouchon et diminuer Φ .	Si la gamme est large, raccourcir L et éloigner le bouchon. Si la gamme est juste, raccourcir L . Si la gamme est étroite, raccourcir L et rapprocher le bouchon.	Si la gamme est large ou juste, raccourcir L , éloigner le bouchon, et élargir Φ . Si la gamme est étroite, raccourcir L et élargir Φ .
Diapason juste	Si la gamme est large, allonger L , ne pas toucher	Si la gamme est large, pas de remède, l'instrument est mal	Si la gamme est large ou juste, raccourcir L ,

	au bouchon, et diminuer Φ Si la gamme est juste ou étroite, allonger L, rapprocher le bouchon et diminuer Φ .	conçu. Cependant, raccourcir L et éloigner le bouchon peut améliorer les choses. Si la gamme est juste : Tout va bien on ne touche à rien ! Si la gamme est étroite, pas de remède, l'instrument est mal conçu. Cependant, allonger L et rapprocher le bouchon peut améliorer les choses.	éloigner le bouchon et augmenter Φ . Si la gamme est étroite, raccourcir L, augmenter Φ .
Diapason haut	Si la gamme est large, allonger L et diminuer Φ . Si la gamme est juste ou étroite, allonger L, rapprocher le bouchon et diminuer Φ .	Si la gamme est large, allonger L et éloigner le bouchon. Si la gamme est juste, allonger L. Si la gamme est étroite, allonger L et rapprocher le bouchon.	Si la gamme est large, éloigner le bouchon et élargir Φ . Si la gamme est juste, allonger L, éloigner le bouchon et élargir Φ . Si la gamme est étroite, allonger L et élargir Φ .

Comme on le voit ci-dessus, tout changement de dimensions de la tête et de l'embouchure a des influences multiples et croisées sur l'ensemble des notes de la tessiture, et il n'est pas facile de séparer ces influences pour corriger tel ou tel défaut de justesse, car la correction demande en général la modification combinée de plusieurs paramètres géométriques. Pour démêler cet écheveau, j'ai fait un petit logiciel capable de déterminer les dimensions de la tête qui donneront la meilleure justesse globale pour une flûte (et un flûtiste) donnés. Le programme utilise la matrice de covariance tirée du graphe ci-dessus pour minimiser les défauts de justesse observés sur l'instrument joué par son utilisateur actuel et équipé de sa tête actuelle. L'utilisateur donne au logiciel la justesse de l'instrument (mesurée par exemple à l'aide d'un accordeur électronique) sur quelques notes, avec la tête existante. En réponse, le logiciel indique comment il convient de modifier ladite tête pour rendre l'instrument le plus juste possible. Le logiciel en question tourne sur un vulgaire PC : il est possible de le télécharger gratuitement sur le site internet de Joël Eymard <http://la.trompette.free.fr/Ninob/Ninob.php> sous le nom de optitete.zip.

Conclusion

La tête de la flûte traversière est une pièce d'une importance cruciale sur la justesse de l'instrument, tant sur son diapason global que sur la largeur de sa gamme et la justesse de ses octaves. Et le trou d'embouchure est également très important, non seulement sur la justesse, mais aussi sur le timbre, la puissance sonore et la facilité d'émission. Une bonne partie de l'apprentissage de la flûte consiste à s'adapter à un instrument, donné comme intangible. Pourtant, à partir d'un certain niveau, il n'est pas mauvais je pense de tenter aussi la démarche inverse, et d'adapter la flûte au flûtiste. Je crois que tout couple flûte-flûtiste mérite l'analyse ci-dessus, afin de prendre clairement conscience des choses à corriger, et déterminer les paramètres géométriques de la tête et de l'embouchure qui conviennent le mieux à son utilisateur.

Il existe des situations où on ne pourra pas guérir l'instrument de ses défauts en modifiant seulement la tête. Ces défauts sont souvent ceux d'un instrument mal conçu, ou conçu pour jouer à un autre diapason que celui souhaité. Dans ces cas, il reste possible de faire un calcul d'optimisation avec le logiciel décrit ci-dessus pour obtenir malgré tout un compromis plus satisfaisant que l'existant. Il appartient ensuite au musicien de s'habituer à corriger les défauts résiduels. Bon courage !

Références

[1] Dissipation viscothermique dans les instruments à vent. Influence de la nature et de la rugosité de la paroi <http://la.trompette.free.fr/Ninob/Ninob.php>

[2] Influence des vibrations de paroi sur le son des instruments à vent (article à paraître)

[3] « Simulation de l'acoustique d'un instrument à vent : le logiciel Tutt », <http://la.trompette.free.fr/Ninob/Ninob.php>