

Accorder un hautbois, son bocal et son anche

BB Ninob, Janvier 2023

Cet article propose un guide pour trouver le meilleur accord possible entre un hautbois, son bocal et son anche.

Le bocal du hautbois est ce petit tube qui sert de trait d'union entre l'anche et l'instrument. La plupart des hautboïstes choisissent leur bocal avec beaucoup de soin. Pourquoi tant d'attention? Quel est le rôle acoustique de ce petit tuyau? Le hautbois, le bocal et l'anche forment un tout. L'ensemble doit être équilibré pour assurer un bon comportement de l'instrument. Nous nous bornerons ici principalement à quelques considérations sur la *justesse* de l'instrument, et sur l'influence que le bocal et l'anche ont sur cette justesse. 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 hautbois 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 ».

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 hautbois est large si son ré grave (doigté 123456) est bas, son sol (doigté 123) est juste et son si médium (doigté 1) est 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.

Si l'instrument est au bon diapason, et possède une 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'un instrument en modifiant son anche et son bocal.

Choisir la bonne anche

Comme cela a été démontré ailleurs, l'anche peut être grossièrement caractérisée par son « volume effectif » (cf les articles « paramètres des anches doubles » et « acoustique des troncs de cône »). Selon la valeur de ce volume effectif, on pourra parler d'anche haute ou d'anche basse. Le volume effectif idéal est égal à 1.5 fois le volume manquant au cône tronqué : une anche possédant ce volume effectif donnera des octaves justes. Si on ne souhaite pas modifier le bocal de l'instrument, mais seulement son anche, les moyens d'action sur le diapason, la largeur de la gamme et la largeur des octaves sont limités, et peuvent être résumés dans le tableau suivant.

	Octaves étroites	Octaves larges
Diapason bas	Si la gamme est large : pas de remède. Si la gamme est étroite : prendre une anche plus haute.	Pas de remède. Changer seulement l'anche ne guérira pas tous les défauts de l'instrument.
Diapason haut	Pas de remède. Changer seulement l'anche ne guérira pas tous les défauts de l'instrument.	Si la gamme est large : prendre une anche plus basse. Si la gamme est étroite : pas de remède.

Choisir le bon enfoncement pour le bocal

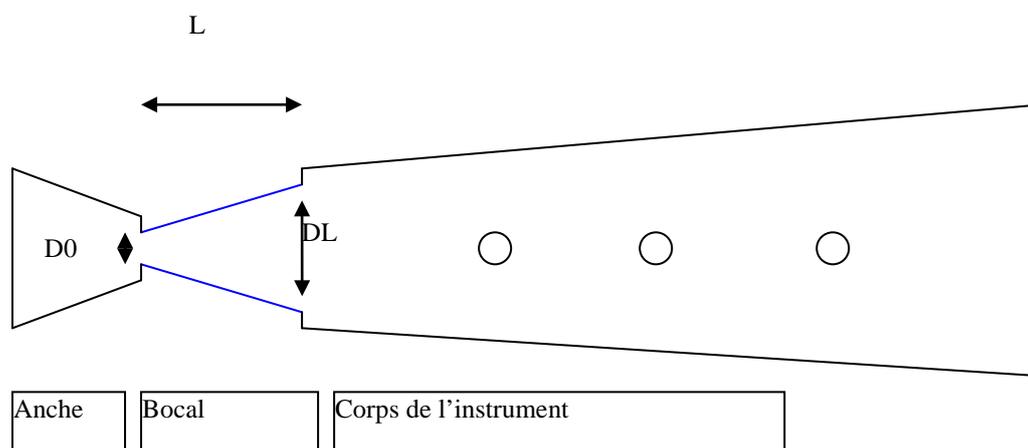
Le bocal peut être caractérisé par son enfoncement dans le corps de l'instrument, et par ses caractéristiques géométriques : longueur, diamètres au petit bout et au gros bout. Si on souhaite garder le même bocal et la même anche, et ajuster l'instrument uniquement en choisissant l'enfoncement du bocal dans le corps de l'instrument, les moyens d'action sur le diapason, la largeur de la gamme et la largeur des octaves sont limités, et peuvent être résumés dans le tableau suivant :

	Octaves étroites	Octaves larges
Diapason bas	Si la gamme est large : pas de remède. Si la gamme est étroite : enfoncer le bocal.	Si la gamme est large : pas de remède. Si la gamme est étroite : enfoncer le bocal.
Diapason haut	Si la gamme est large : retirer le bocal. Si la gamme est étroite : pas de remède.	Si la gamme est large : retirer le bocal. Si la gamme est étroite : pas de remède.

La comparaison entre les deux tableaux montre que choisir une anche plus haute ou enfoncer le bocal sont deux actions qui ne produisent pas exactement les mêmes effets. On peut donc espérer améliorer le comportement de l'instrument dans une assez large classe de situations, juste en choisissant la bonne anche et le bon enfoncement pour le bocal. Il reste cependant des situations où il faut impérativement changer non seulement l'anche et l'enfoncement du bocal, mais aussi la *géométrie* de ce dernier si on veut ajuster plus finement à la fois le diapason, la largeur de la gamme et la largeur des octaves de l'instrument.

Choisir le bon bocal

L'anche et le haut de la perce du hautbois sont le siège de phénomènes acoustiques violents (pression acoustique intense) et compliqués (couplages non-linéaires entre la dynamique de l'anche et celle de la colonne d'air). Face à cette complexité, nous ferons preuve de modestie, et attaquerons le problème acoustique sous un angle accessible : nous nous bornerons ici à quelques considérations sur la *justesse* de l'instrument, et sur l'influence que le bocal a sur cette justesse. Il ne s'agira que d'évaluer la justesse de l'instrument considéré ici comme une simple colonne d'air terminée en haut par un volume effectif représentant l'anche. Cette colonne (l'air enfermé dans le hautbois) vibre selon des modes dont la fréquence dépend de la forme géométrique du « récipient », c'est à dire de la forme intérieure du hautbois prolongé de son bocal et de son anche représentée par son volume effectif. Pour appréhender son influence sur la justesse du hautbois, nous ferons varier les dimensions du bocal pendant que l'instrument, l'anche (provisoirement)...et l'instrumentiste restent inchangés.



Le bocal (en bleu) et ses paramètres

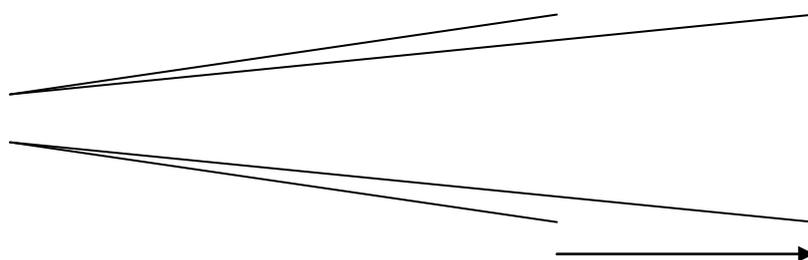
La perce du hautbois ressemble en gros à un tronc de cône. En général, le bocal n'est pas un prolongement exact du tube principal, il y a discontinuité de la perce et changement de conicité au niveau du bocal.

On peut schématiser le bocal par un tronc de cône caractérisé par trois paramètres : sa longueur L , et ses diamètres D_0 et DL au gros bout et au petit bout respectivement.

Voilà donc ci-dessus la colonne d'air dont on se propose de calculer les fréquences de vibration, c'est à dire la justesse. On donne ci-après l'influence sur la justesse des deux premiers partiels d'une petite variation de la longueur L et des diamètres D0 et DL du bocal. Le calcul a été fait avec le logiciel Tutt pour les deux premiers modes de vibration de la colonne d'air : le premier mode, dit « fondamental », correspond à la première octave de la tessiture du hautbois. Le deuxième mode correspond à la deuxième octave.

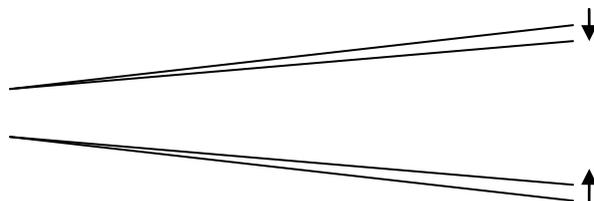
La justesse des modes sera exprimée en cents, par rapport à la justesse idéale (1/2 ton = 100 cents).

Changer la longueur du bocal



L'allongement du bocal à diamètres d'extrémité constants entraîne un abaissement général du diapason. Cependant, l'effet est différent sur les deux partiels: même un allongement important (3 mm) n'abaisse le premier partiel que d'une dizaine de cents (un peu plus vers le haut de la gamme, un peu moins vers le bas), alors que le second partiel est plus fortement abaissé (de l'ordre de 20 cents). L'octave se trouve donc rétrécie de 10 cents environ, soit 1/20ème de ton.

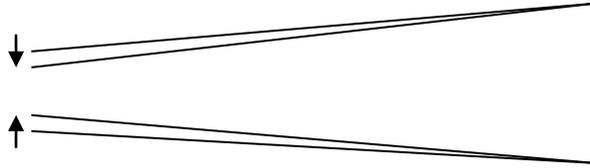
Changer le diamètre du bocal au gros bout



Un rétrécissement du bocal au gros bout tendra à faire monter les fréquences de tous les modes présentant un ventre de pression à cet endroit, ce qui est le cas de toutes les notes du bas de la tessiture. L'effet est assez fort : un rétrécissement de diamètre de 0.3 mm suffit à faire monter le premier partiel de 8 cents (1/25ème de ton). En revanche, les seconds partiels n'ont plus exactement un ventre de pression au niveau du gros bout du bocal, et se trouvent rabaissés, surtout dans le haut de la tessiture. L'effet global est un rétrécissement des octaves d'environ 15 cents.

Tous les chiffres donnés ici ont été calculés pour une note du milieu de la gamme du hautbois (disons un fa#). L'effet produit par ces mêmes modifications du bocal aurait été un peu moins accentué sur une note du bas de la gamme comme un ré, et plus accentué sur une note du haut de la gamme, comme un la ou un si.

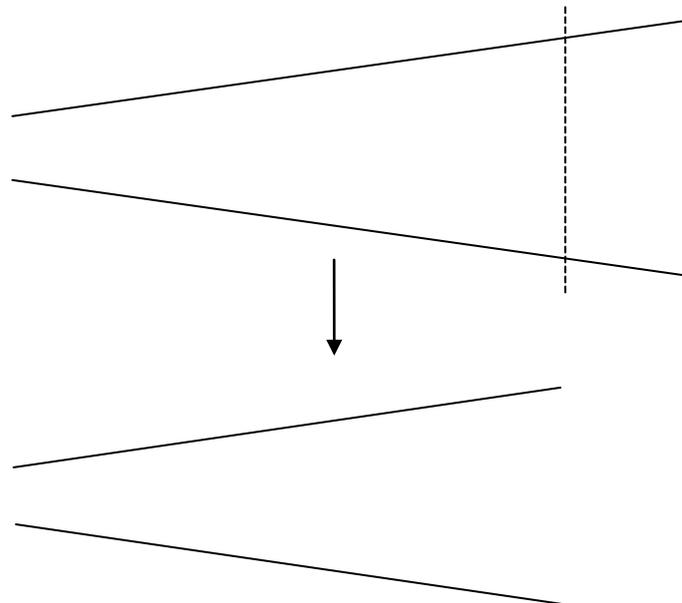
Changer le diamètre du bocal au petit bout



L'effet d'un rétrécissement du bocal au petit bout est similaire à celui d'une réduction de diamètre au gros bout, à ceci près que l'abaissement des notes de la deuxième octave est plus accentué, surtout dans le haut de la gamme.

On a supposé ici que le diamètre de la colonne d'air côté anche au niveau du raccord avec l'anche reste constant malgré le rétrécissement du bocal, ce qui est rarement réalisé dans la pratique car l'anche, ligaturée au bocal, suit le rétrécissement de ce dernier. Si on tient compte de cette corrélation, le premier partiel monte encore un peu plus, et les seconds partiels descendent moins.

Couper le bocal par le gros bout



Nous avons jusqu'à présent examiné l'effet d'une modification de longueur du bocal à diamètres d'extrémité constants, et d'une modification des diamètres du bocal à longueur constante. Dans la pratique, couper un bocal

par le gros bout revient à réduire à la fois sa longueur et son diamètre au gros bout. Les deux effets précédemment décrits se cumulent alors : si l'on coupe un bocal de hautbois de 3 mm par le gros bout, le diamètre au gros bout diminuera de 0.2 mm : le premier partiel montera de 15 cents, et le second de 10 cents environ. L'octave se trouvera rétrécie de 5 cents.

L'influence sur la justesse d'un raccourcissement du bocal par découpe du gros bout est résumée dans le tableau suivant :

	ω_1 (premier partiel)	ω_2 (second partiel)	8ve (largeur de l'octave)
Pour les notes du bas de la gamme	Elévation modérée	Forte élévation	Augmentation
Pour les notes du haut de la gamme	Forte élévation	Faible élévation	Diminution

Comme on le voit sur ce tableau, couper le bocal entraîne donc un élargissement de la largeur de la gamme dans la première octave, et un rétrécissement de la largeur de la gamme de la deuxième octave. Compliqué !

Comment trouver le bon bocal pour son hautbois ?

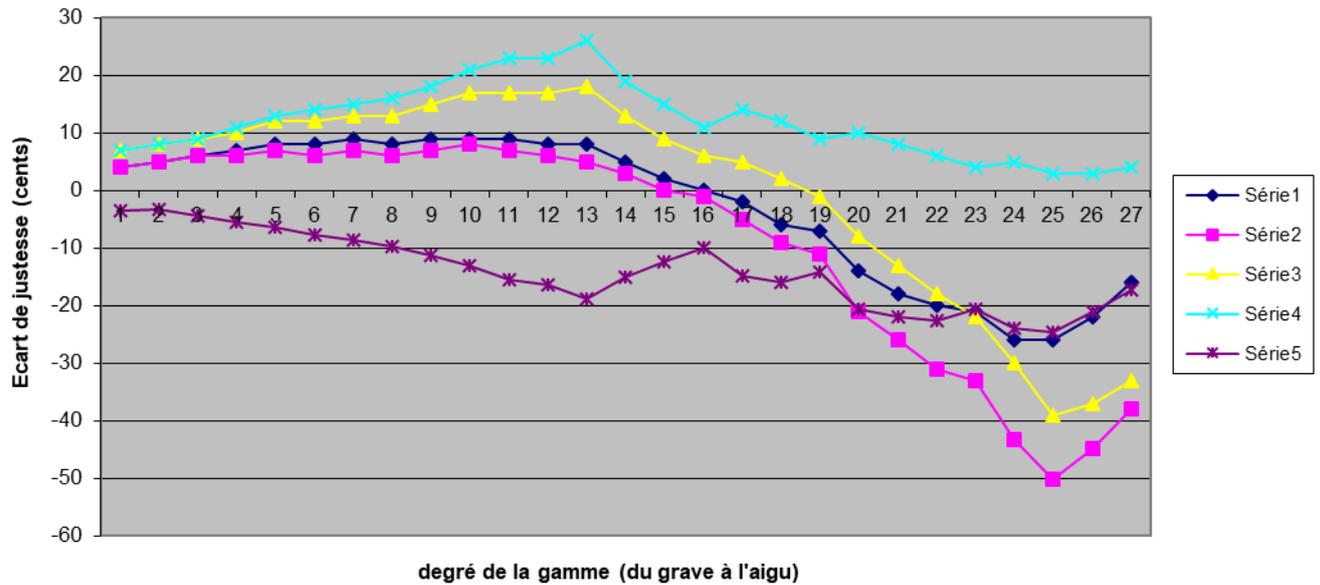
Pour les allergiques au calcul, on peut résumer l'influence qualitative du bocal avec les tableaux ci-dessous, qui donnent le sens de modification à apporter au bocal du hautbois pour soigner ses défauts de justesse et d'émission. Pour simplifier, on ne considère ici provisoirement que deux paramètres pour le bocal : sa longueur L et son diamètre moyen D. Les symptômes sont en bleu, les causes et les conséquences sont en noir et les remèdes sont en rouge.

Causes	L trop petit	L trop grand
D trop petit	Diapason haut, octaves étroites, gamme large	Diapason bas, octaves étroites L'aigu ne sort pas
D trop grand	Diapason haut, octaves larges Les graves craquent	Diapason bas, octaves larges, gamme étroite

Conséquences	Octaves étroites	Octaves larges
Diapason bas	L'aigu ne sort pas Augmenter D, raccourcir L	Diminuer D, raccourcir L
Diapason haut	Augmenter D, allonger L	Les graves craquent Diminuer D, allonger L

Pour aller au-delà de l'approche qualitative, on trouvera dans le graphique ci-dessous l'influence de quelques perturbations des dimensions du bocal sur la justesse de l'instrument. Le calcul a été fait ici avec le logiciel Tutt pour un hautbois baroque (mon Delanca 415), mais les résultats sont pratiquement les mêmes pour un hautbois moderne.

Perturbation des dimensions du bocal



L'effet d'une perturbation des dimensions du bocal d'un hautbois baroque (mon Delanca 415) sur la justesse de l'instrument sur toutes les notes de la tessiture. Les notes vont du grave à l'aigu, et sont numérotées de 1 (do grave) à 27 (ré aigu).

1 : diminuer le diamètre du bocal au gros bout de 0.3 mm

2 : diminuer le diamètre du bocal de 0.3 mm au petit bout sans changer le diamètre de la colonne d'air côté anche

3 : diminuer le diamètre du bocal de 0.3 mm au petit bout en diminuant également le diamètre de la colonne d'air côté anche

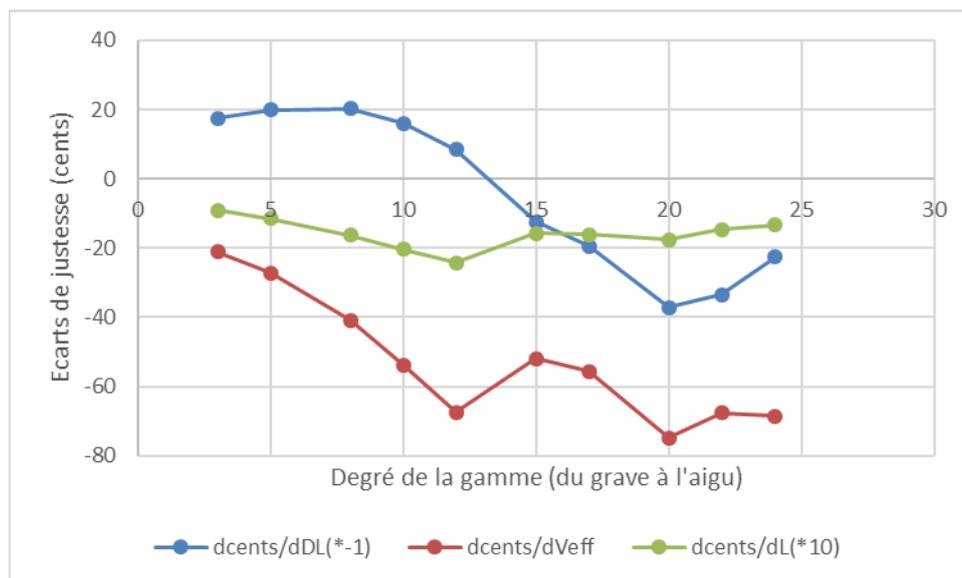
4 : raccourcir le bocal de 3 mm en coupant le gros bout

5 : allonger la longueur du bocal de 3 mm sans changer ses diamètres d'extrémité

Comme on le voit ci-dessus, tout changement de dimension du bocal 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. Pour démêler cet écheveau, j'ai fait un petit logiciel capable de déterminer les dimensions optimales du bocal pour un instrument (et un instrumentiste) 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 son bocal actuel. L'utilisateur donne au logiciel la justesse de l'instrument (mesurée par exemple à l'aide d'un accordeur électronique) sur quelques notes, avec le bocal existant. En réponse, le logiciel indique comment il convient de modifier ledit bocal 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 www.trompette.eynard sous le nom de bocaloptim.exe.

Le cas du basson

Toutes les considérations précédentes ont été faites en pensant au hautbois, mais elles s'appliquent qualitativement à tous les bois à perce conique, saxophone ou basson. Le basson est quand-même un cas un peu à part, en raison de la grande longueur relative de son bocal. C'est pourquoi nous avons fait un calcul spécial pour les bassons.



L'effet d'une perturbation des dimensions du bocal d'un basson baroque sur la justesse de l'instrument sur les notes de la tessiture (l'extrême grave et l'extrême aigu ont été omis). Les écarts de justesse (en ordonnées) sont exprimés en cents. En abscisses, les notes vont du grave à l'aigu, et sont numérotées de 3 (sol grave, doigté 123456) à 24 (mi aigu, doigté 13456).

En bleu : diminuer le diamètre du bocal au gros bout de 1 mm

En rouge : augmenter le volume effectif de l'anche de 1 cm³

En vert : allonger la longueur du bocal de 10 mm sans changer ses diamètres d'extrémité

Résumé

On peut résumer comme suit les influences de l'anche et du bocal sur la justesse du hautbois ou du basson :

- Diminuer le diamètre du bocal rétrécit les octaves, et laisse la gamme et le diapason à peu près inchangés.
- Agrandir l'anche rétrécit les octaves, rétrécit la gamme et fait descendre le diapason.
- Augmenter la longueur du bocal ou retirer le bocal existant laisse les octaves à peu près inchangées, rétrécit la gamme et fait descendre le diapason.

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 l'anche, ainsi que sur le diamètre moyen D et la longueur L du bocal :

	Octaves étroites	Octaves justes	Octaves larges
Diapason bas	L'aigu ne sort pas. Si la gamme est large, pas de remède. Si la gamme est juste, augmenter D et raccourcir L. Si la gamme est étroite, prendre une anche plus haute.	Si la gamme est large ou juste, pas de remède : le diapason naturel de l'instrument est trop bas par construction. Si la gamme est étroite, diminuer L ou enfoncer le bocal existant.	Si la gamme est large ou juste, pas de remède. Si la gamme est étroite, diminuer D et raccourcir L.
Diapason juste	Si la gamme est large ou juste, augmenter D. Si la gamme étroite, pas de remède.	Si la gamme est large, pas de remède, l'instrument est mal conçu.	Si la gamme est large, pas de remède. Si la gamme est juste ou étroite, diminuer D.

		<p>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.</p>	
Diapason haut	<p>Si la gamme est large, augmenter D et allonger L. Si la gamme est juste ou étroite, pas de remède.</p>	<p>Si la gamme est large, augmenter L ou retirer le bocal existant. Si la gamme est juste ou étroite, pas de remède, le diapason naturel de l'instrument est trop haut par construction.</p>	<p>Les graves craquent Si la gamme est large, prendre une anche plus basse. Si la gamme est juste, diminuer D et allonger L. Si la gamme est étroite, pas de remède.</p>

On constate sur le tableau qu'il subsiste des situations où on ne pourra pas guérir l'instrument de ses défauts en modifiant seulement l'anche et le bocal. 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 détaillé pour obtenir malgré tout un compromis plus satisfaisant que l'existant. Il appartient ensuite au musicien de s'habituer à corriger les défauts résiduels. Si on a affaire à un instrument ancien, ou copie d'ancien, on pourra prétendre que ces défauts sont en fait des « particularités » de l'instrument, voulues et assumées par le facteur, et que vivre avec permettra de mieux s'imprégner de l'esprit de la musique ancienne. Bon courage !

Conclusion

Le bocal ne paye pas de mine : il se réduit à une petite pièce de métal. Son importance est pourtant 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. Je crois que tout couple hautbois-hautboïste mérite l'analyse ci-dessus, afin de déterminer les dimensions du bocal qui lui convient le mieux. C'est particulièrement vrai des instruments historiques, dont les bocaux ont rarement été conservés, et doivent donc être reconstitués. J'ai ainsi fabriqué une copie fidèle du hautbois baroque Bizey du musée d'Oxford, que j'ai longtemps considérée comme très fautive et donc pratiquement injouable, jusqu'au jour où j'ai vraiment cherché le bocal et l'anche qui convenaient à cet instrument. Ayant enfin trouvé les bonnes dimensions au moyen de la petite analyse acoustique ci-dessus, j'ai découvert un instrument magnifique !