

Paramètres des anches doubles

BB. Ninob, Août 2013

***Résumé** Dans cet article, on tente de dégager des règles pour la conception et la réalisation d'anches doubles, à partir de considérations géométriques et physiques. Dans une première partie, on examine les relations à respecter entre les différents paramètres géométriques de l'anche (longueur de la palette, largeur, pente du tube, diamètre du tube, aplatissement du tube) pour avoir une anche dont les palettes se rejoignent sans écrasement ni fuite. On montre ici que la longueur et la largeur des palettes des anches doubles sont déterminées quasi-complètement par les dimensions du tube ou du mandrin sur lesquelles elles sont montées.*

Dans une seconde partie, on compile les paramètres géométriques et mécaniques des anches de différents instruments à anche double (longueur, largeur, ouverture, module d'élasticité du matériau), puis on en déduit via un modèle mécanique simple les paramètres d'oscillateur de ces anches (raideur, surface vibrante) et les quantités pertinentes pour la compréhension du fonctionnement acoustique desdits instruments (volume effectif de l'anche, qui gouverne la justesse de l'instrument ; pression de fermeture, qui gouverne la dureté de l'anche). Les paramètres ainsi évalués permettent de reproduire correctement la fréquence en jeu de tous les instruments à anche double sur l'ensemble de leur tessiture, avec une précision de l'ordre d'une vingtaine de cents. Ce résultat représente peut-être une avancée importante dans la modélisation du comportement acoustique des instruments à anche double.

Ces considérations peuvent être d'une certaine utilité pour les facteurs et utilisateurs d'instruments à anche double et guider l'optimisation des anches, en particulier pour des instruments extrapolés, rares ou peu usités.

Tous les hautboïstes et bassonistes, tous les sonneurs de bombardes, gaïteros et joueurs de cornemuse savent à quel point leur instrument dépend des anches qu'ils utilisent. En revanche seuls les plus curieux d'entre eux ont cherché à savoir pourquoi leurs anches ont telles ou telles proportions, et comment se comporterait leur instrument si on changeait ces proportions. La question peut paraître accessoire pour les instrumentistes qui pratiquent des instruments classiques, aux caractéristiques figées dans des canons rigides ; elle est particulièrement aigüe pour les concepteurs de nouveaux instruments.

L'anche doit d'abord être réalisable : pour adapter une anche double sur un instrument donné, il faut respecter des contraintes assez strictes sur la géométrie de l'anche : par exemple, tout bêtement, les palettes doivent se rejoindre ! L'anche doit ensuite être jouable avec une pression de bouche raisonnable, ce qui impose encore d'autres contraintes, non seulement géométriques (par exemple sur l'ouverture de l'anche), mais aussi mécaniques (par exemple sur la raideur du matériau utilisé). Enfin, l'anche doit être juste, ce qui impose entre autres des contraintes sur la surface vibrante des palettes. Ces paramètres ne sont pas indépendants. On se propose de regarder ici les relations à respecter entre eux, pour avoir une anche qui marche.

Première partie : proportions des anches

Dans tout cet article, on supposera que l'anche est montée sur un tube conique, éventuellement aplati au bout. Certes, les anches de basson sont montées sur un mandrin et non sur un tube, mais cela revient au même du point de vue « géométrique » qui nous occupe ici. Les considérations ci-dessous sont donc générales, et peuvent s'appliquer à toutes les anches doubles.



Anches de basson baroque, hautbois baroque, hautbois moderne et bombarde bretonne, avec les tubes ou mandrins sur lesquelles elles sont montées.

Pour concevoir une anche dont les palettes se rejoignent sans écrasement ni fuite, les différents paramètres géométriques de l'anche ne peuvent être choisis de façon totalement libre et indépendante : la longueur des palettes, leur largeur, la pente, le diamètre et l'aplatissement du tube ne peuvent pas être quelconques et doivent être reliés par de relations de proportionnalité.

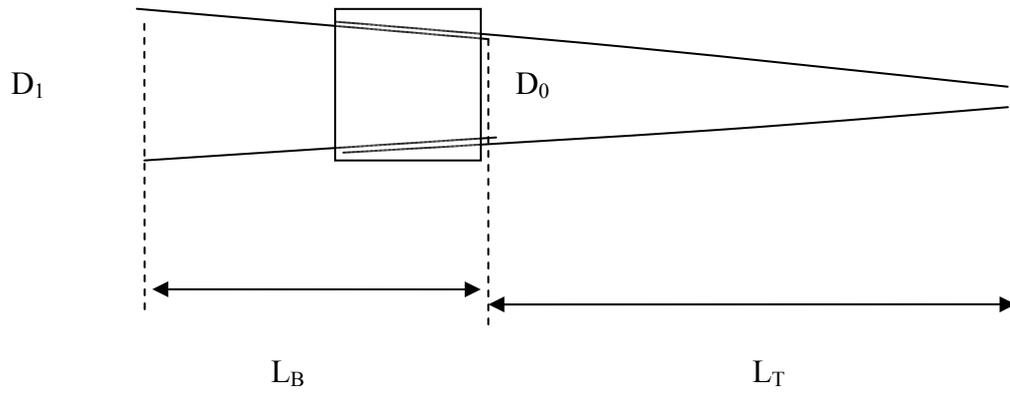
Longueur de l'anche

La palette de l'anche prolonge de façon quasi-rectiligne la pente du tube sur lequel elle est montée, presque jusqu'à rencontrer le plan axial de l'anche. Par conséquent, la longueur L_T de la palette se déduit du petit diamètre D_0 et de la pente C du tube ou du mandrin sur lequel est montée l'anche :

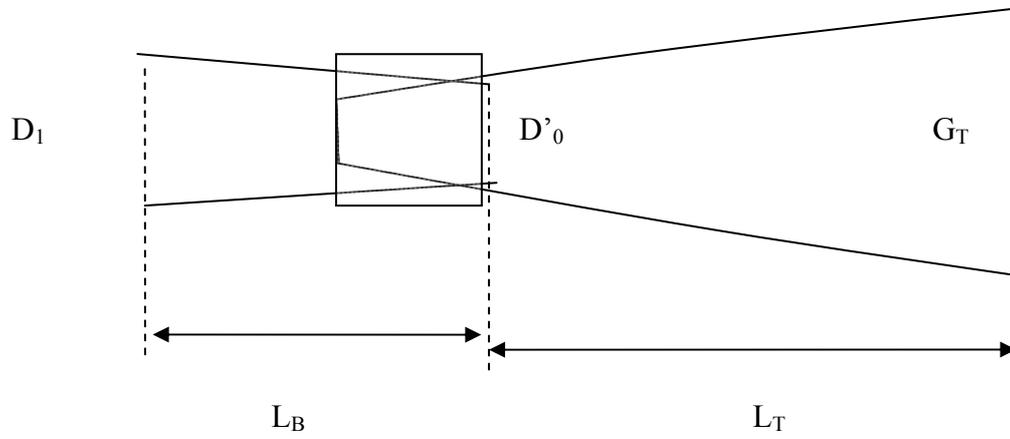
$L_T = \frac{F \cdot D_0}{C + C_0}$ (eq.1), où la quantité C est la pente du tube ou du mandrin, définie par

$$C = \frac{D_1 - D_0}{L_B} \quad (\text{eq. 2}).$$

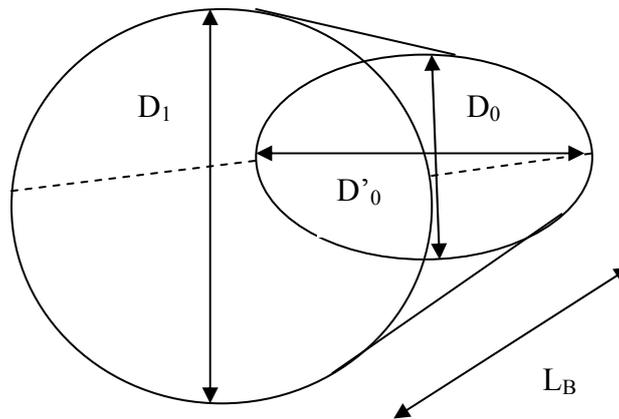
Le paramètre C_0 tient compte de la (faible) convexité du profil des palettes et du fait que ces dernières s'interrompent avant de se rejoindre. Si le profil des palettes était exactement rectiligne, et si les palettes se rejoignaient à la pointe de l'anche, on aurait $F=1$ et $C_0 = 0$. Pour toutes les anches doubles, on a en pratique $F=1.1$ et $C_0 \approx 0.033$.



Vue de profil de l'anche montée sur son tube ou sur son mandrin



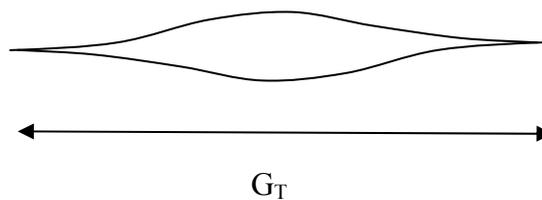
Vue de dessus de l'anche montée sur son tube ou sur son mandrin



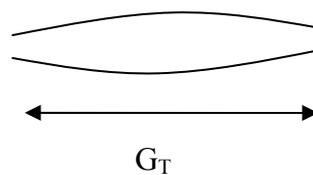
Vue en perspective du tube ou du mandrin sur lequel est montée l'anche. D_0 et D_1 sont les dimensions extérieures du tube ou du mandrin. Le tube peut être aplati au bout. Dans ce cas, le diamètre D_0 à prendre en compte pour évaluer la pente du cône et des palettes est le petit diamètre de l'ellipse.

Largeur de l'anche

Si la palette est très large au bout, les deux palettes s'écrasent mutuellement : l'anche a alors une double courbure (comme un arc mongol) et sera difficile à fermer (dessin).



Si la palette est très étroite au bout, l'anche a une simple courbure et les deux bords ont tendance à se disjoindre (dessin).



Pour que les palettes se rejoignent juste sans s'écraser, j'ai trouvé que la largeur G_T de l'anche devait obéir à la formule empirique suivante :

$$G_T = \frac{F' \cdot D'_0}{C + C'_0} \quad (\text{eq. 3}),$$

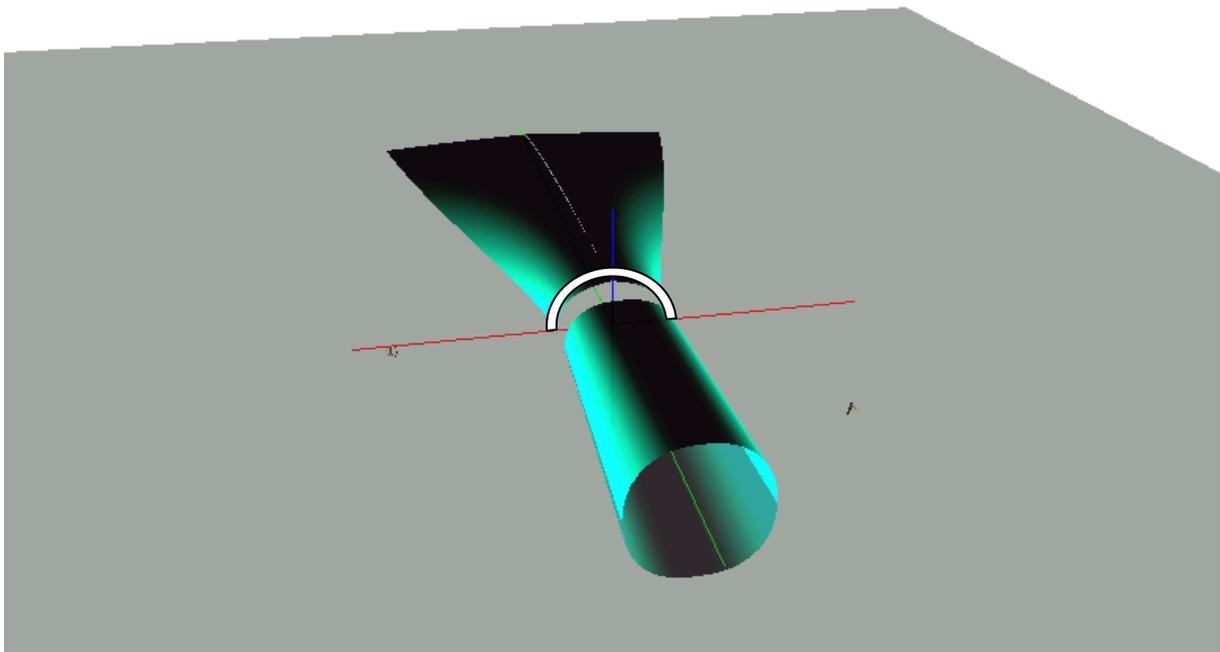
où D'_0 est le grand diamètre du tube ou du mandrin sur lequel est monté l'anche.

On reproduit correctement la largeur au bout de toutes les anches des instruments classiques avec les valeurs de paramètres $F'=0.36$ et $C'_0 = 0.047$ (cf tableau 1).

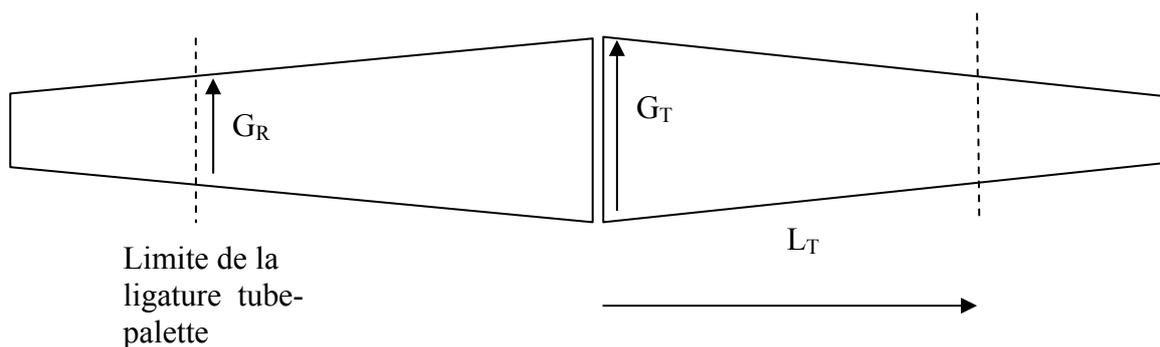
Largeur au talon de l'anche

Pour que les palettes de l'anche se rejoignent sans s'écraser, il faut encore respecter une autre contrainte : la largeur G_R de la palette au niveau du talon, c'est-à-dire au niveau du raccord avec le tube ou le mandrin, doit être égale au demi-périmètre du bout du tube (dessin) :

$$G_R = \frac{\pi \cdot (D_0 + D'_0)}{4} \quad (\text{eq. 4}).$$



Le raccordement tube-palette



Vue développée des palettes de l'anche : les dimensions de la tuile de roseau de l'anche double sont déterminées par les équations 1-4, qui ne font intervenir que les dimensions du tube ou du mandrin sur lequel l'anche est montée. Le modèle ci-dessus donne L_T , G_T et G_R , mais ne dit rien sur la forme exacte de la palette. Celle-ci est proche de la forme trapézoïdale représentée ici, mais les flancs peuvent être plus ou moins convexes.

Le tableau 1 ci-dessous rassemble les dimensions géométriques des anches doubles des instruments usuels.

	DL, diamètre r_{D0} , pt diamètr $D'0$, gd diamè LB, longueur r_C , pente du tu L_T , longueur ζ GT, largeur g_{LT} , longueur d G_T , largeur d' ε GR, largeur d
cromorne sop	6.00E-03 4.00E-03 7.50E-03 1.50E-02 1.33E-01 2.50E-02 1.60E-02 2.65E-02 1.50E-02 9.03E-03
cromorne alto	6.50E-03 4.50E-03 7.80E-03 1.70E-02 1.18E-01 3.00E-02 1.77E-02 2.99E-02 1.71E-02 9.66E-03
cromorne tenc	7.50E-03 6.00E-03 8.00E-03 2.00E-02 7.50E-02 5.50E-02 2.00E-02 5.56E-02 2.36E-02 1.10E-02
cromorne bas	8.50E-03 7.00E-03 9.00E-03 2.30E-02 6.52E-02 6.70E-02 2.30E-02 7.13E-02 2.89E-02 1.26E-02
hautbois mod	5.80E-03 2.20E-03 3.00E-03 4.60E-02 7.83E-02 2.30E-02 7.00E-03 1.98E-02 8.62E-03 4.08E-03
hautbois baro	5.30E-03 2.80E-03 3.50E-03 2.70E-02 9.26E-02 2.40E-02 9.20E-03 2.23E-02 9.03E-03 4.95E-03
bombarde sop	5.30E-03 2.80E-03 4.50E-03 2.15E-02 1.16E-01 1.95E-02 1.00E-02 1.88E-02 9.92E-03 5.73E-03
taille baroque	5.50E-03 3.00E-03 3.70E-03 3.00E-02 8.33E-02 2.80E-02 1.00E-02 2.58E-02 1.02E-02 5.26E-03
basson moder	5.00E-03 3.70E-03 5.00E-03 2.30E-02 5.65E-02 3.90E-02 1.50E-02 4.13E-02 1.74E-02 6.83E-03
basson baroq	5.50E-03 4.00E-03 5.50E-03 2.50E-02 6.00E-02 4.30E-02 1.80E-02 4.30E-02 1.85E-02 7.46E-03

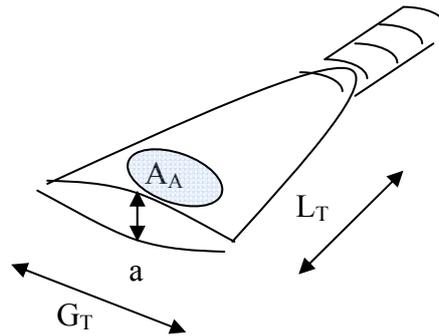
Tableau 1 : Les dimensions des anches doubles des instruments usuels (exprimées en m). En jaune : les données géométriques réelles ; en orange : les résultats de la paramétrisation de la longueur et de la largeur des palettes, avec les équations 1 et 3 de l'article.

L'accord entre dimensions réelles et dimensions prédites par les lois semi-empiriques ci-dessus est raisonnable. Ceci montre que la longueur et la largeur des palettes des anches doubles sont déterminées quasi-complètement par les dimensions du tube ou du mandrin sur lesquelles elles sont montées. Bien sûr, tout ceci ne vaut que pour des palettes initialement plates ou à grand rayon de courbure avant montage. Les palettes des anches moulées ou thermoformées peuvent avoir des dimensions très différentes.

Deuxième partie : faire des anches jouables et justes.

Par « jouable », j'entends une anche qui puisse fonctionner à une pression de bouche raisonnable ; Par « juste », j'entends une anche qui ait le volume équivalent adéquat, afin que son couplage avec l'instrument donne les fréquences en jeu attendues.

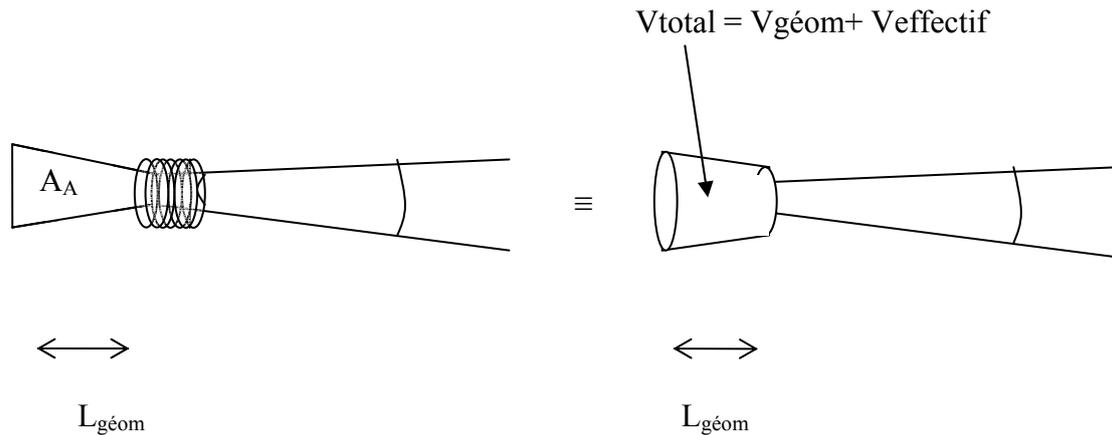
Il s'agit ici de déduire les paramètres acoustiques des anches de leurs paramètres géométriques et mécaniques, au moyen d'un modèle acoustique de l'anche.



Des paramètres géométriques de l'anche : largeur G_T , longueur L_T , ouverture a , on peut déduire les paramètres acoustiques de l'anche, en particulier sa surface vibrante A_A et son volume total équivalent.

Le modèle du volume équivalent

Le modèle acoustique d'anche que nous proposons d'utiliser ici est le modèle du volume équivalent.



Le modèle du volume équivalent

Il a été montré ailleurs (réf [1], thèse de Nederveen, voir aussi la démonstration dans l'article de la réf. [2]) que si la pulsation propre de l'anche était grande devant celle du tuyau qu'elle excite (et c'est bien le cas pour tous les « bois »), l'anche influait sur la fréquence des modes du tuyau pratiquement comme si elle était un simple volume V_{total} placé au bout du tube, lui-même somme d'un volume géométrique $V_{\text{géom}}$ égal au volume d'air enfermé par les deux palettes de l'anche et d'un volume effectif V_{eff} lié au mouvement des palettes, qui pompe de l'air dans et hors du tube à chaque oscillation :

$$V_{\text{eff}} = (2) \frac{P_0 \cdot \gamma \cdot A_A^2}{K} \quad (\text{eq. 5}),$$

où A_A est la surface vibrante (c'est-à-dire mobile) d'une palette de l'anche, et K la raideur de l'anche, définie comme le rapport entre la force appliquée sur la palette et la déformation. Le facteur 2 est dû au fait que l'anche est double.

Ce volume d'anche joue un rôle primordial sur la justesse de l'instrument : si V_{tot} est trop grand, le diapason est bas et les octaves trop étroites ; s'il est trop petit, c'est l'inverse qui se produit. Il faut donc donner à l'anche le bon volume effectif V_{tot} .

La valeur du paramètre K peut être déterminée assez facilement par la méthode du pèse-lettres : on pose l'anche à plat sur une balance, et on appuie avec le doigt sur la zone « active » de la palette jusqu'à fermer l'anche. La mesure de la force nécessaire F_f et de l'ouverture a de l'anche au repos donne directement la raideur

$$K = (2) \frac{F_f}{a} \quad (\text{eq. 6}). \text{ Là encore, le facteur 2 vient de ce que l'anche est double.}$$

Reste à déterminer la valeur du paramètre A_A , surface vibrante de l'anche. La surface active (c'est à dire mobile) de l'anche n'est pas égale à la surface totale d'une palette, car toute la palette ne vibre pas avec la même amplitude, cette dernière étant fixée sur ses flancs et au talon.

La pression de fermeture de l'anche (la plus petite pression nécessaire pour coller les deux palettes de l'anche), mesurée au manomètre à bouche, fournit le renseignement complémentaire :

$$P_f = \frac{K.a}{(2).A_A} \text{ (eq. 7).}$$

La surface mobile A_A se déduit donc directement du rapport entre la force F_f et de la pression de fermeture P_f :

$$A_A = \frac{F_f}{P_f} \text{ (eq. 8).}$$

Le tableau 2 montre le résultat des mesures de F_f et P_f effectuées par moi sur des anches d'instruments usuels, ainsi que la valeur de surface vibrante qu'on peut en déduire. L'incertitude sur la mesure de F_f et P_f est de l'ordre de 20%.

Il est raisonnable de considérer que cette surface vibrante A_A est proportionnelle aux dimensions géométriques de l'anche :

$$A_A = \xi.L_T.G_T \text{ (eq. 9).}$$

Le coefficient de proportionnalité ξ a été tabulé. Il s'avère relativement constant (compris entre 1/7 et 1/11) pour toutes les anches de l'article, ce qui suggère que des anches aussi diverses qu'une anche de bombarde ou une anche de basson, qui possèdent des formes et des tailles très différentes, et fonctionnent avec des pressions différentes, peuvent néanmoins être modélisées de la même façon.

La connaissance de A_A et de K ainsi acquise peut être utilisée pour calculer le volume effectif de l'anche via l'eq. 5.

On peut ensuite évaluer le volume géométrique de l'anche via

$$V_{geom} = 0.7.D_0.D'_0.L_T \text{ (eq. 10).}$$

Avec cette équation, on suppose que le volume d'air compris entre les palettes de l'anche est proche de celui d'un cylindre qui aurait le diamètre extérieur du bocal (éventuellement aplati) et la longueur de la palette. Cette hypothèse est raisonnable : des moulages montrent que la section intérieure de l'anche est à peu près constante le long de la palette [3].

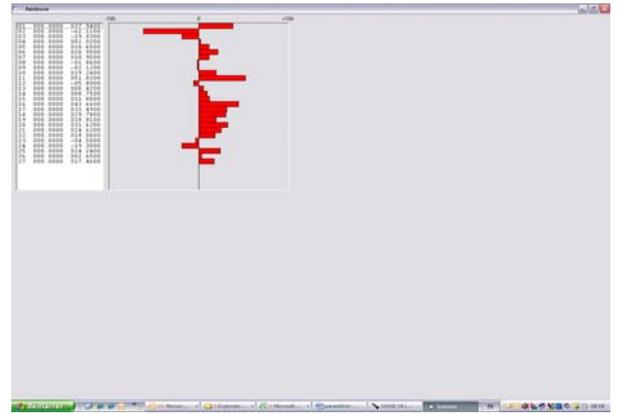
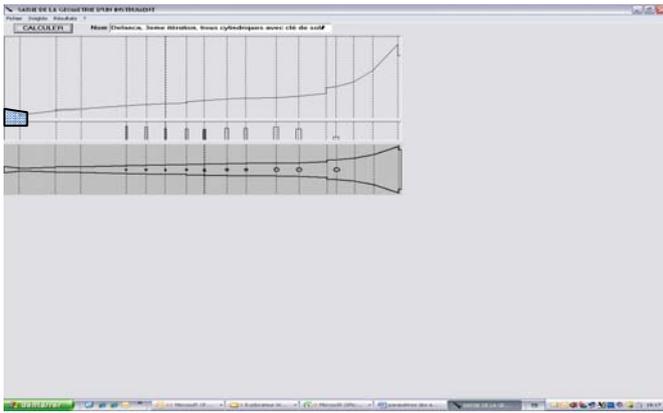
Le volume total équivalent de l'anche vaut alors

$$V_{tot} = V_{eff} + V_{geom} \text{ (eq. 11).}$$

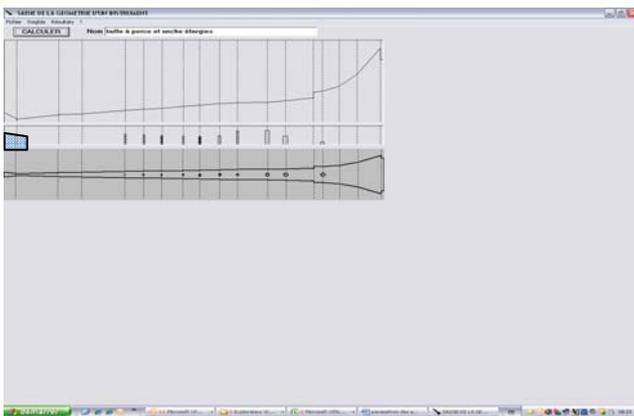
Ce volume total peut ensuite être utilisé pour calculer la justesse de l'instrument sur l'ensemble de sa tessiture, en supposant que les fréquences en jeu sont celles des modes propres de la colonne d'air de l'instrument couplée par son extrémité supérieure au volume V_{tot} . Ici, c'est le logiciel Tutt [4] que j'ai utilisé pour faire ce calcul sur trois instruments-types, un hautbois, une taille et un basson baroque, et comparer ensuite les fréquences en jeu prédites et observées.

(a)

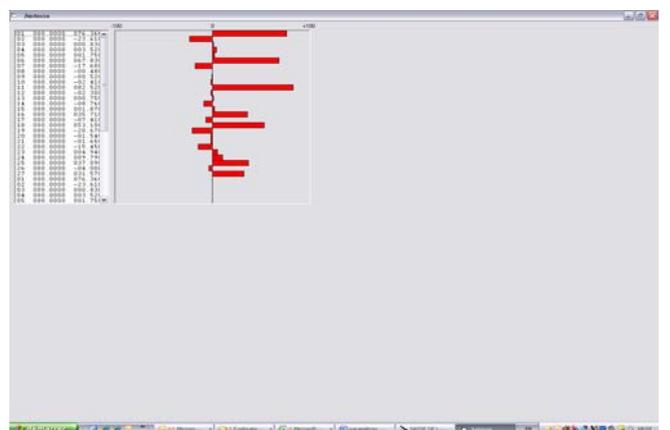
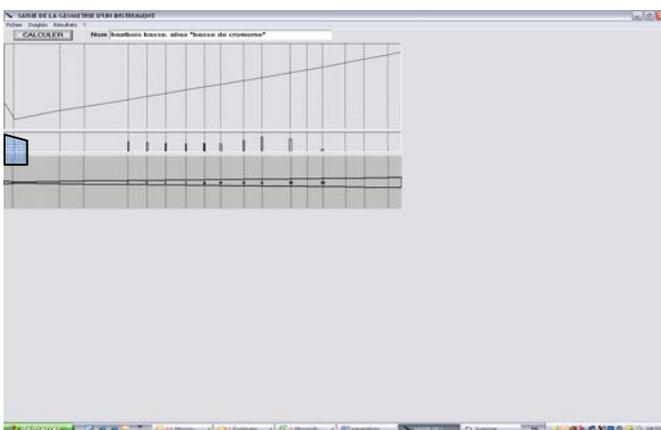
(b)



Justesse calculée d'un hautbois baroque avec les paramètres d'anche de l'article. Le volume total de l'anche est représenté par le trapèze bleu dans le plan de perce(a) de l'instrument. L'histogramme (b) représente la justesse en cents de l'instrument sur chacun de ses doigts usuels.



Justesse calculée d'une taille baroque, avec les paramètres d'anche de l'article.



Justesse calculée d'un basson baroque avec les paramètres d'anche de l'article.

Ici, on n'a pas fait une comparaison directe entre théorie et expérience, on s'est contenté de calculer avec le logiciel Tutt les fréquences en jeu sur toute la tessiture des trois instruments, dûment fabriqués et joués par moi. Je peux attester de leur comportement musical satisfaisant, puisque je les joue régulièrement en orchestre sans trop de récriminations de la part de mes collègues ; le fait que Tutt prédise pour ces instruments des fréquences en jeu justes à 20 cents près sur toute la tessiture tient lieu de validation du modèle.

Les paramètres d'anche évalués par le modèle ci-dessus (Table 2) permettent ainsi de reproduire correctement la fréquence en jeu de tous les instruments à anche double sur l'ensemble de leur tessiture, avec une précision de l'ordre d'une vingtaine de cents. Je crois que ce résultat représente une avancée importante dans la modélisation du comportement acoustique des instruments à anche double.

Bien sûr, le modèle du volume effectif est une approximation assez grossière de la réalité. Il est intéressant de constater que cette approximation suffit pourtant pour calculer assez précisément les fréquences en jeu d'instruments aussi divers que les cromornes, la bombarde ou le basson.

	LT, longueur	GT, largeur	ga, ouverture	d, Force de ferm	Pression de f	Surface vibrar	K raideur de l'	Volume effect	Volume géom	Volume total
cromorne sop	2.50E-02	1.60E-02	6.00E-04	2.50E-01	5.25E+03	4.76E-05	8.33E+02	7.62E-07	5.25E-07	1.29E-06
cromorne alto	3.00E-02	1.77E-02	7.00E-04	3.43E-01	5.25E+03	6.53E-05	9.80E+02	1.22E-06	8.27E-07	2.05E-06
cromorne tenor	5.50E-02	2.00E-02	8.00E-04	5.00E-01	4.00E+03	1.25E-04	1.25E+03	3.50E-06	2.07E-06	5.57E-06
cromorne bas	6.70E-02	2.30E-02	9.00E-04	6.90E-01	3.75E+03	1.84E-04	1.53E+03	6.18E-06	3.31E-06	9.50E-06
hautbois mod	2.30E-02	7.00E-03	6.00E-04	2.50E-01	1.00E+04	2.50E-05	8.33E+02	2.10E-07	1.19E-07	3.29E-07
hautbois baro	2.40E-02	9.20E-03	6.00E-04	2.62E-01	9.00E+03	2.91E-05	8.73E+02	2.72E-07	1.85E-07	4.56E-07
bombarde sop	1.95E-02	1.00E-02	6.00E-04	2.50E-01	1.09E+04	2.30E-05	8.33E+02	1.78E-07	1.93E-07	3.70E-07
taille baroque	2.80E-02	1.00E-02	7.00E-04	3.56E-01	9.75E+03	3.65E-05	1.02E+03	3.67E-07	2.44E-07	6.11E-07
basson mode	3.90E-02	1.50E-02	8.00E-04	5.00E-01	6.75E+03	7.41E-05	1.25E+03	1.23E-06	5.66E-07	1.80E-06
basson baroq	4.30E-02	1.80E-02	8.00E-04	5.00E-01	6.25E+03	8.00E-05	1.25E+03	1.43E-06	7.43E-07	2.18E-06

Tableau 2 : Paramètres acoustiques des anches usuelles des différents instruments à anche double. Toutes les unités sont celles du système international : les longueurs sont en m, la pression en Pa, les volumes en m³, la raideur K en N/m. Les quantités surlignées en jaune sont les données d'entrée des équations 5-11 ; les quantités surlignées en orange sont les données de sortie, calculées avec ces équations.

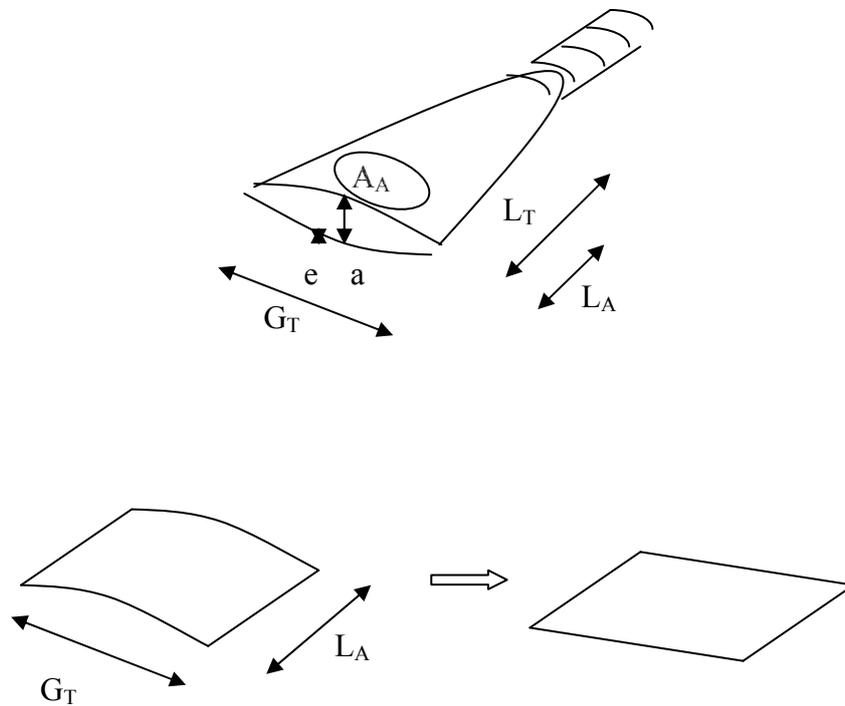
Un paramètre crucial pour faire des anches justes : la largeur de la palette

Tous les joueurs d'anches doubles savent à quel point la justesse de leur instrument dépend des anches qu'ils utilisent. Le paramètre le plus crucial est peut-être la largeur de l'anche. Voici pourquoi les anches doubles sont si sensibles à ce paramètre.

En simplifiant l'anche très grossièrement, on peut modéliser la palette de l'anche comme une plaque mince, de longueur L_A , de largeur G_T , et d'épaisseur uniforme e . Le module d'élasticité du matériau de l'anche est E .

On suppose que le mouvement de l'anche lors de son oscillation est une pure flexion transverse de cette plaque. En réalité, il est probable qu'on ait affaire à un mélange de mouvements transversaux et longitudinaux. Peut être même que le fameux « cri » caractéristique des bonnes anches doubles correspond à l'excitation simultanée de deux de ces

modes. Mais toutes les observations stroboscopiques d'anche doubles en oscillation montrent que le mode dominant est bien le mode de flexion transversale. Dans un souci de simplicité, considérons seulement ici ce mode.



La flexion de la palette, modélisée comme une plaque mince.

Si on applique une force F sur la palette de l'anche, la théorie de la flexion des plaques [5] permet d'évaluer la flexion de cette dernière, et par là, la raideur de l'anche, définie comme le rapport entre la force appliquée et la déformation :

$$K = 0.4 \frac{E.e^3.L_T}{G_T^3} \quad (\text{eq. 12}).$$

Le coefficient 0.4 vient du fait que la longueur vibrante de la palette n'est qu'une fraction de la longueur totale L_T de l'anche

Cette « raideur » K correspond à une définition de physicien. Ce que les musiciens appellent la « raideur » ou la « dureté » de l'anche n'est pas la quantité K , mais plutôt la pression de fermeture de l'anche, c'est à dire la pression de bouche nécessaire pour la faire fléchir de sa demi-ouverture au repos, soit :

$$P_f = 0.2 \frac{E.e^3.a}{G_T^4} \quad (\text{eq. 13}).$$

L'eq. (9) permet de calculer le volume effectif de l'anche via

$$V_{eff} = (2) \frac{P_0 \cdot \gamma \cdot A_A^2}{K} = \frac{P_0 \cdot \gamma \cdot A_A \cdot a}{P_f} = 5 \frac{P_0 \cdot \gamma \cdot \xi \cdot G_T^5 \cdot L_T}{E \cdot e^3} \quad (\text{eq. 14}).$$

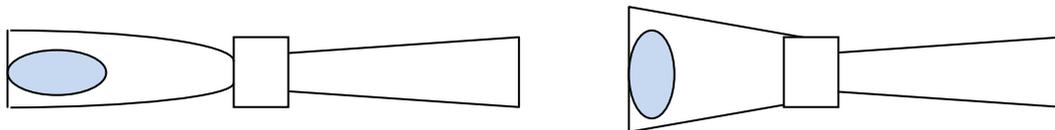
Toutes choses égales par ailleurs, les équations 13 et 14 ci-dessus montrent à quel point les paramètres de l'anche considérée comme un oscillateur dépendent de sa largeur G_T :

- La pression de fermeture varie comme la quatrième puissance de la largeur, ce qui signifie par exemple qu'augmenter la largeur d'une anche de basson pour la faire passer de 18 à 19 mm diminuera sa pression de fermeture de 24% environ.
- Quant au volume effectif de l'anche, il varie comme la puissance cinquième de la largeur. Augmenter la largeur de l'anche de 18 à 19 mm augmentera le volume effectif de 31%, avec des conséquences considérables sur le diapason et la justesse globale de l'instrument, qui deviendront alors beaucoup trop bas si on laisse inchangés tous les autres paramètres de l'anche.

Quelques considérations pratiques sur la justesse des anches, à l'usage des musiciens

On peut tirer de ces considérations quelques conclusions pratiques à l'intention des musiciens qui fabriquent leurs anches :

- Ce qui compte pour préserver la justesse de l'instrument, c'est d'avoir une anche possédant le bon volume total équivalent V_{tot} . Celui-ci peut être obtenu par plusieurs combinaisons des paramètres longueur vibrante, largeur vibrante, épaisseur e , ouverture de l'anche a . Mais attention : pour deux combinaisons de paramètres donnant le même volume total V_{tot} , la dureté de l'anche (au sens des musiciens) sera différente. On peut par exemple faire fonctionner une anche de hautbois moderne très large (mettons 8 mm au lieu des 7 mm officiels, sacrilège !) à condition de raccourcir beaucoup la longueur grattée de l'anche (il faudra passer de 10 mm à 5 mm, re-sacrilège !) pour préserver la justesse et le diapason. Au passage, si tous les autres paramètres de l'anche restent inchangés, la pression de fermeture de l'anche aura diminué d'un facteur 1.7, on aura donc une anche beaucoup moins « dure ». Les limites de l'exercice sont vite atteintes, car l'élargissement de l'anche change pas mal le timbre de l'instrument, mais l'expérience est amusante et mérite d'être tentée. J'ai pu vérifier expérimentalement le bien fondé de ces élucubrations en mesurant au manomètre à eau la pression de bouche nécessaire pour faire sonner mon hautbois avec des anches « normales » puis avec des anches « élargies-raccourcies ». Le confort et la souplesse de jeu apportés par les secondes m'ont paru intéressants, et font pardonner le changement de timbre. Élargir mes anches m'a permis de ne plus m'époumoner sur des anches trop dures pour ma musculature d'amateur, et de résoudre du coup mes problèmes d'endurance.



Deux anches de même volume effectif : la première longue et étroite, la seconde large et courte. La surface vibrante (en bleu) des deux anches peut être identique ; les deux peuvent avoir la même hauteur, et convenir pour le même instrument.

- Pour accorder une anche, on peut recourir à un procédé radical : baguer l'anche à mi-hauteur de la palette avec un fil métallique épais, et régler l'ouverture de l'anche à la pince, sur le fil métallique. Ce procédé limite également la surface vibrante de l'anche à la zone située au dessus du fil. Le serrage de la bague a pour effet de fermer l'anche, ce qui la fait monter, par diminution de son volume effectif. Cette action diminue du même coup la pression nécessaire pour faire parler l'anche. Pour peu qu'on soit parti d'une anche trop basse et trop ouverte, on arrive facilement à des paramètres satisfaisants avec cette méthode de réglage à la fois précise et réversible.



Une anche en plastique, baguée avec un fil de cuivre épais. On aperçoit sous la bague les renforts des palettes par enroulement de fibre de verre. La bague délimite la zone vibrante de l'anche. Le réglage à la pince de cette bague, ici placée très haut, permet de régler finement l'ouverture et le diapason de l'anche.

- Le baguage de l'anche permet de limiter la surface vibrante de la palette, et donc de découpler dans une certaine mesure la surface vibrante de l'anche de ses dimensions géométriques (l'éq. 9 avec le coefficient $\xi=1/9$ ne vaut que pour une anche non baguée). J'ai beaucoup expérimenté sur des anches de hautbois baroque baguées à différentes hauteurs, pour faire varier la balance entre volume géométrique et volume effectif, tout en gardant constante la somme des deux. J'ai pu constater que les anches à fort volume géométrique et faible surface vibrante avaient un son plus rond, moins nasillard que les anches à faible volume géométrique et forte surface vibrante. Comme c'est ce que je recherche pour mes hautbois, je joue maintenant avec des anches larges (pour avoir un fort volume géométrique), assez fermées (pour avoir une faible pression de fermeture) et baguées très haut (pour avoir un faible volume effectif et garder la justesse de l'anche). Au passage, le baguage de l'anche réduit radicalement le champ de liberté en fréquence de l'anche, ce qui la rend bien moins fatigante mais diminue aussi son volume sonore maximal et ses possibilités expressives. Ce sont là des critères que je sacrifie volontiers au profit de l'ergonomie. Evidemment, c'est un choix personnel : les sonneurs de bombarde auront peut-être d'autres critères esthétiques ! En tout cas, le baguage des anches représente à mon humble avis un moyen de

contrôle très important de la production sonore, insuffisamment exploité par les instrumentistes classiques.

- Une anche vraiment trop basse peut aussi être remontée en aplatissant à la pince le bout du tube sur lequel elle est montée. Cette action augmente la pente du tube, et ferme l'anche qui peut alors être recoupée à la pointe. Volume effectif et volume géométrique de l'anche s'en trouvent réduits, et le diapason de l'anche remonte alors. Sur les anches de basson, qui ne sont pas montées sur tube, resserrer la bague supérieure a le même effet.

Anches extrapolées

Quand on extrapole un instrument à anche double pour en concevoir un autre dans une tessiture différente, quels paramètres faut-il donner à la nouvelle anche ? Supposons que l'on recherche une anche adaptée à un instrument extrapolé d'un original selon un facteur x sur les longueurs et y sur les diamètres. Les considérations précédentes permettent de trouver comment extrapoler l'anche : il suffit de considérer la longueur de l'anche L_T comme une dimension longitudinale, et la largeur G_T , l'épaisseur e et l'ouverture a comme des dimensions transverses. Extrapoler l'anche originale selon la règle

$$L_T \rightarrow x.L_T, \quad G_T \rightarrow y.G_T, \quad \text{et } e \rightarrow y.e$$

donne une anche juste car le volume effectif devient

$$V_{\text{eff}} \rightarrow y^2 .x. V_{\text{eff}},$$

le volume géométrique suit la même loi :

$$V_{\text{géom}} \rightarrow y^2 .x. V_{\text{géom}}$$

et le volume total aussi :

$$V_{\text{tot}} \rightarrow y^2 .x. V_{\text{tot}},$$

ce qui est la valeur recherchée pour rendre l'instrument juste.

Au passage, si on a respecté également la règle

$$a \rightarrow y.a$$

pour l'ouverture de l'anche, la pression de fermeture de l'anche (sa « dureté » au sens des musiciens) restera inchangée :

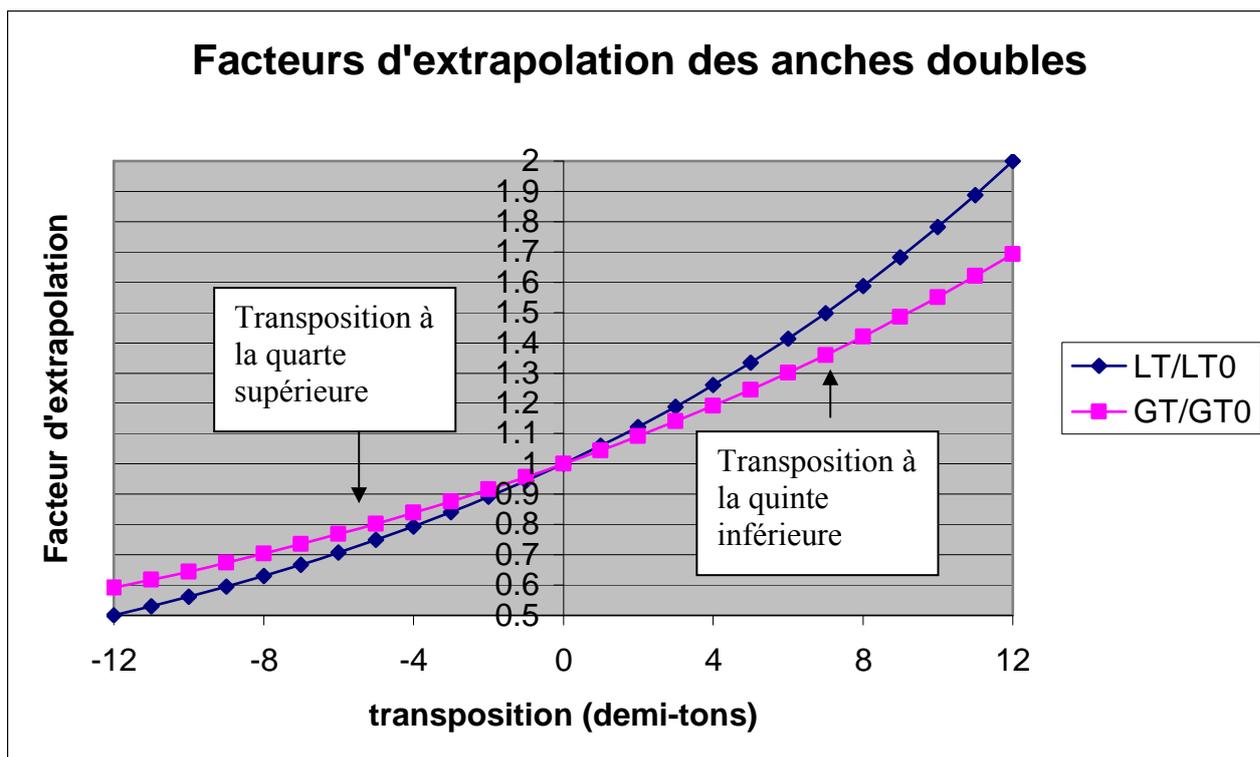
$$P_f \rightarrow P_f,$$

ce qui est le résultat recherché pour avoir une anche jouable. La règle d'extrapolation des anches doubles d'un instrument à un autre de la même famille est donc la suivante : multiplier la longueur de l'anche par le même facteur d'extrapolation longitudinal x que pour le corps de l'instrument ; multiplier les dimensions transversales de l'anche (largeur, épaisseur) par le même facteur d'extrapolation transversal y que pour l'instrument. Ces lois d'extrapolation donnent également la raideur K de la nouvelle anche :

$$K \rightarrow x.K.$$

Si le calcul de l'instrument extrapolé se fait avec le logiciel Tutt, ces règles fournissent les nouveaux paramètres à rentrer dans Tutt pour l'anche extrapolée.

Sur la plupart des types d'instruments à vent, les facteurs d'extrapolation longitudinal x et transverse y ne sont pas indépendants : une valeur moyenne observée sur de nombreux instruments de la famille du hautbois donne $y = x^{0.76}$. Si on adopte cette loi, on peut tracer l'abaque ci-dessous pour l'extrapolation des anches doubles.



*Facteurs d'extrapolation des dimensions des anches doubles, en fonction du nombre de demi-tons de la transposition. Losanges : facteur d'extrapolation pour la longueur de l'anche ; Carrés : facteur d'extrapolation pour la largeur de l'anche.
Exemple : pour trouver les dimensions d'une anche d'un instrument transposé à la quinte inférieure (hautbois --> taille ou cor anglais), la transposition est de 7 demi-tons, et il faut multiplier la longueur de l'anche par 1.50 et sa largeur par 1.36.*

Il faut noter que les équations ci-dessus, et les règles d'extrapolation qui en découlent, ne valent que pour les anches doubles, qui fléchissent transversalement. Pour les anches simples, qui fléchissent longitudinalement (clarinettes, saxophones), les choses sont très différentes. Mais pour les anches doubles, ces règles fonctionnent vraiment ! Alors, si vous retrouvez dans le grenier du château de Moulinsart une cornemuse galicienne du 16^{ème} siècle accordée en fa#, ne vous jetez pas sur le premier bout de roseau venu pour faire une anche au petit bonheur : les règles ci-dessus devraient vous permettre de fabriquer sans trop tâtonner une anche qui fonctionne !

Remerciements à Mike Hutley pour des discussions stimulantes.

Références

[1] J.C. Nederveen, « Acoustical aspects of woodwind instruments », Northern Illinois University Press

[2] Modes propres d'un tronc de cône terminé ou non par une cavité, avec ou sans couplage à l'anche

<http://la.trompette.free.fr/Ninob/Ninob.php>

[3] Mike Hutley, communication privée

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

[5] Landau-Lifchitz. Théorie de l'élasticité, éditions MIR 1967