

Annexe 13. La fausseté de la trompette

Jean Alain Monfort
(24 / 12 / 2017)

0. Préliminaires

0.1. Tout tuyau sonore doté d'un excitateur (eg l'ensemble des deux lèvres) permet de produire un son de base (ou note fondamentale) ainsi que ses harmoniques (cf Annexe 00, [quelques informations sur la trompette ou cornaline](#)). Un tel tuyau est alors appelé résonateur.

0.2. Plus un tuyau est court, plus les sons obtenus seront aigus.

Ainsi, un tuyau dont la longueur est égale à la moitié d'un autre résonne (**règle de proportionnalité**) deux fois plus aigu, ie à l'octave supérieure. Autrement dit, les fréquences émises sont égales au double des fréquences précédentes.

Une octave telle que C1-C2 contient 8 notes et 12 degrés (intervalles élémentaires de 1/2 ton, ou intervalles chromatiques, entre notes) : ici, la fréquence de C2 (523,25 Hz) est égale au double de celle de C1 (261,63 Hz) (symboliquement, $C2 = 2 \cdot C1$).

0.3. Pour obtenir une **gamme chromatique « tempérée »** (ie dont les degrés soient exactement espacés de 1/2 ton), la règle de proportionnalité implique de répartir de façon « régulière » le multiple 2 entre ces 12 degrés. Autrement dit, le coefficient multiplicateur « élémentaire » vaut $c_0 = 2^{1/12} = 1,059463... \approx 1,06\%$ (puisqu, par définition, $(2^{1/12})^{12} = 2$).

Entre un degré donné d_i et le degré d_{i+1} situé 1/2 ton au-dessus (soit un écart de 100 cents), le coefficient multiplicateur vaut donc $c_0 = 2^{1/12}$ (constante) (quel que soit $i = 1, \dots, 11$). Par suite, si n est le nombre de degrés entre une note de fréquence f_0 donnée et une note de fréquence supérieure f_n , la relation s'écrit $f_n = f_0 \cdot (2^{1/12})^n = f_0 \cdot 2^{n/12}$.

Ainsi, passer de G2 (= 392,00 Hz) à G2# (= 415,30 Hz) ($n = 1$) revient à multiplier la fréquence de G2 par le coefficient c_0 précédent.

En particulier, 1/2 ton = 100 cents et correspond à un intervalle : $\Delta_i = f_0 \cdot 2^{(i+1)/12} - f_0 \cdot 2^{i/12} = f_0 \cdot 2^{i/12} (2^{1/12} - 1) = f_0 \cdot c_0^i (c_0 - 1)$, quel que soit i .

0.2. On considère ci-après le **cas d'une trompette en Bb** à trois pistons (situation usuelle). On se place :

(a) après **accordage** (réglage de la hauteur générale) : ainsi, le B2 obtenu en abaissant le piston 2 doit être entendu comme un A2 (calibré sur le diapason) ;

(b) avec **coulisses de piston rentrées** (positions courtes) : donc sans correction de la fausseté.

Tous ces instruments ont un **tube (embouchure et perce) de longueur fixe** ainsi que des **coulisses de pistons de longueur fixe**.

Le cas d'une trompette de tonalité différente (A, B, D, Eb) se traite de la même manière que ci-dessous. Il en va de même pour d'autres « cuivres » : cornet, bugle, euphonium, tuba, cor, trombone à pistons.

Si un instrument comporte plus de 4 pistons (eg piccolo ou bugle à 4 pistons), l'analyse est analogue.

On exclut donc de l'analyse les instruments de longueur variable, obtenue par élévation, ie :

(a) soit par adjonction de corps supplémentaires (trompette naturelle, trompette baroque) ou de trous latéraux qui modifient de façon discontinue la longueur de base (trompette à trous) (cf flûtes) ;

(b) soit à l'aide d'une coulisse unique, qui modifie de façon continue la longueur de base (trombone, « ancienne » trompette à coulisse).

La fausseté de l'instrument moderne apparaît (est perceptible) dès que l'on utilise **au moins deux pistons simultanément** à partir des notes obtenues « à vide », soit : la fondamentale C1 (qui produit un B1b), l'un des harmoniques G2 (qui produit un F2), C2 (qui produit un B2b), E2 (qui produit un D2), G3 (qui produit un F3), [(B3b qui produit un A3b)], C3 (qui produit un B3b) et (E3 qui produit un D3).

L'explication qui suit (1.2.) vient simplement de la différence entre :

(a) la **conception** de l'instrument elle-même, dont résulte sa fabrication : la longueur de chacune des trois coulisses est calculée indépendamment entre elles, et en proportion de la longueur totale du tuyau (y compris l'embouchure), laquelle est **fixe** pour une trompette actuelle (environ 136,00 cm pour la SML Paris en Bb). Ces longueurs sont donc, elles aussi et par construction, fixes : les proportions entre longueurs des coulisses et longueur de l'instrument, qui en résultent, permettent de calculer les longueurs effectives obtenues par abaissement des pistons ;

(b) les **propriétés acoustiques des tuyaux sonores**. Les hauteurs du son (fréquences) se définissent en proportion de la longueur d'un tube donné : ainsi, une piccolo est deux fois plus courte qu'une ordinaire et résonne une octave au-dessus (8^{va}). Or, l'abaissement de 2 pistons (au moins) faussent ces proportions car celles-ci sont appliquées à une **longueur de tube qui a préalablement varié**. Les résultats du calcul « théorique » (ci-dessous) permettent d'évaluer les écarts de hauteurs, donc la fausseté de l'instrument.

1. Les calculs

On note :

L_0 la longueur approximative totale du tube, depuis l'embouchure jusqu'à la sortie du pavillon ($L_0 \# 136,00$ cm pour la SML Paris en Bb) ;

p_2 ($0 < p_2 < 1$) la proportion entre la longueur C_2 de la coulisse 2 et la longueur totale L_0 ($C_2 = p_2 \cdot L_0$). C'est cette proportion qui permet d'abaisser la fondamentale ou une harmonique quelconque de 1/2 ton (= 100 cents). Elle vaut (cf § 0.3.) $p_2 = 1 - c_0 = 1,059463 - 1 \# 5,95 \%$;

p_1 la proportion entre la longueur C_1 de la coulisse 1 et la longueur totale L_0 ($C_1 = p_1 \cdot L_0$). Cette proportion permet d'abaisser les notes de base de 1 ton. Elle vaut $p_1 = 1 - c_0^2$;

p_3 la proportion entre la longueur C_3 de la coulisse 3 et la longueur totale L_0 ($C_3 = p_3 \cdot L_0$). Cette proportion permet d'abaisser les notes de base de 1 ton 1/2, et elle vaut $p_3 = 1 - c_0^3$.

On peut alors raisonner comme suit.

1.1. Abaissement d'un seul piston

(a) abaisser le piston 2 seul allonge L_0 de $C_2 = p_2 \cdot L_0$, d'où une longueur totale $L_2 = L_0 + C_2 = L_0 \cdot (1 + p_2)$;

(b) de même, abaisser le piston 1 (seul) allonge L_0 de $C_1 = p_1 \cdot L_0$, d'où une longueur totale $L_1 = L_0 \cdot (1 + p_1)$;

(c) enfin, abaisser le piston 3 isolément allonge L_0 de $C_3 = p_3 \cdot L_0$, d'où une longueur totale de $L_3 = L_0 \cdot (1 + p_3)$. Par l'équivalence théorique des combinaisons 12 et 3, on a aussi $L_3 = L_0 \cdot (1 + p_1 + p_2)$;

1.2. Abaissement de deux pistons

Les raisonnements (a), (b) et (c) ci-après sont du même type. Seules les valeurs prises en compte changent :

(a) **combinaison 21**. Abaisser le piston 2, puis le piston 1 (combinaison 12), allonge d'abord L_0 de C_2 (soit $L_2 = L_0 + C_2$), puis de $C_1 = p_1 \cdot L_0$, soit une longueur totale $L_{21} = L_0 + C_2 + C_1 = L_0 + p_2 \cdot L_0 + p_1 \cdot L_0 = L_0 \cdot (1 + p_2 + p_1)$.

Or, dans ce qui précède, la longueur C_1 correspond à une proportion p_1 appliquée à la longueur L_0 , alors (**règle de proportionnalité**) qu'elle devrait être appliquée à la nouvelle longueur L_2 obtenue lorsque le piston 2 est déjà abaissé : ceci nécessiterait une coulisse 1 plus longue. Autrement dit, on doit raisonner comme si L_2 était une « nouvelle » harmonique, et « oublier » la longueur initiale L_0 .

Par suite, l'instrumentiste devrait avoir à sa disposition, non pas la longueur L_{21} , mais la longueur $L_{21}^{\sim} = L_2 \cdot (1 + p_1)$.

La longueur L_{21} est donc trop courte (déficit égal à $\Delta_{21} = L_{21}^{\sim} - L_{21}$) et la note correspondante est ainsi trop élevée.

La combinaison 12 produit donc (selon la fréquence d'« accrochage » associée à L_0) la note (fausse) A (ou E, C2#, etc) correspondant à L_{21} au lieu de produire la note correcte A^{\sim} (ou E^{\sim} , C2# $^{\sim}$, etc) correspondant à L_{21}^{\sim} .

Par symétrie de rôle, le résultat est inchangé si l'on inverse l'ordre des pistons 1 et 2 (ie $L_{12}^{\sim} = L_{21}^{\sim}$), ce qui était attendu (et que l'on peut observer).

(b) **combinaison 23**. Appuyer sur le piston 2 puis sur le piston 3 revient à allonger L_2 avec la coulisse 3 ($C_3 = 26,55$ cm), d'où une longueur totale $L_{23} = L_2 + C_3 = L_2 + p_3 \cdot L_0$.

Or, la proportion p_3 est basée sur L_0 au lieu de la nouvelle longueur L_2 obtenue après abaissement du piston 2. On doit encore raisonner comme si L_2 correspondait à une « nouvelle » harmonique et « oublier » la longueur initiale L_0 .

Par suite, l'instrumentiste devrait disposer, non pas de la longueur L_{23} précédente, mais de la longueur $L_{23}^{\sim} = L_2 + p_3 \cdot L_2 = L_2 \cdot (1 + p_3)$.

La longueur L_{23} est donc trop courte (la différence étant de $\Delta_{23} = L_{23}^{\sim} - L_{23}$): la note correspondante est donc trop élevée.

Ainsi, la combinaison 23 produit la note (fausse) Ab (ou Eb, etc) correspondant à L_{23} au lieu de produire la note (correcte) Ab^{\sim} (ou Eb^{\sim} , etc) correspondant à L_{23}^{\sim} .

Comme précédemment, le résultat est invariant par inversion de l'ordre ($L_{23}^{\sim} = L_{32}^{\sim}$).

(c) **combinaison 13.** Enfin, appuyer sur le piston 1 puis sur le piston 3 revient à allonger $L_1 = L_0 + C_1$ avec la coulisse 3, d'où une longueur totale $L_{13} = L_0 + C_1 + C_3 = L_0 + p_1 \cdot L_0 + p_3 \cdot L_0 = L_0 (1 + p_1 + p_3)$.

Or, la proportion p_3 est basée sur L_0 au lieu de la nouvelle longueur L_1 : on devrait souffler, non pas dans la longueur L_{13} précédente, mais dans la longueur $L_{13}^{\sim} = L_0 + C_1 + p_3 \cdot (L_0 + C_1) = (1 + p_3) \cdot (L_0 + C_1)$.

La longueur L_{13} est donc trop courte (de $L_{13}^{\sim} - L_{13}$) et la note correspondante encore trop élevée.

Ainsi, la combinaison 13 produit la note (fausse) G1 (ou D, etc) correspondant à L_{13} au lieu de produire la note (correcte) $C1^{\sim}$ (ou D^{\sim} , etc) correspondant à L_{13}^{\sim} . Ce résultat est toujours inchangé par permutation (ie $L_{13}^{\sim} = L_{31}^{\sim}$).

1.3. Abaissement des trois pistons

En poursuivant le même type de raisonnement, le fait d'abaisser les trois pistons (combinaison 123) allonge le tuyau jusqu'à atteindre la longueur égale $\Delta_{123} = L_0 + C_1 + C_2 + C_3 = L_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3)$.

Or, abaisser (par exemple) les pistons 12 devrait fournir la longueur exacte précédente (ie L_{12}^{\sim}), puis abaisser le piston 3 devrait conduire à allonger L_{12}^{\sim} d'une proportion p_3 , ie fournir la longueur $\Delta_{123}^{\sim} = L_{12}^{\sim} (1 + p_3)$.

La trompette est donc ici en défaut de $\Delta_{123}^{\sim} - \Delta_{123}$ et la note obtenue est trop élevée.

Ce résultat est naturellement inchangé en abaissant aussi 2 à partir de 13, ou encore 1 à partir de 23.

2. Synthèse

Les développements précédents permettent de dresser un tableau synthétique basé sur les 42 notes (ou « degrés ») standards qui parcourent la tessiture de l'instrument: les calculs précédents sont appliqués à la fondamentale C1 et à chacun de ses harmoniques G2, C2, E2, G3 et C3.

Comme 1/2 ton = 100 cents correspond à 8,16 cm de tuyau (cf coulisse de piston 2), un écart quelconque de Δ cm (colonne 5) correspond (règle de proportionnalité) à une différence de hauteur égale à $(100 / 8,16) \cdot \Delta$ cents. Le résultat de cette règle de trois figure en colonne 6. Les valeurs supérieures à 10 cents (perception d'écart par l'oreille) sont indiquées en gras.

On suppose que la longueur de l'instrument est 136 cm.

1	2	3	4	5	6
harmonique	combinaison	longueur réelle	longueur théorique	Δ (cm)	Δ (cent)
G2	000	136,00	136,00	0,00	0,00
F2#	020	144,16	144,16	0,00	0,00
F2	100	152,32	152,32	0,00	0,00
E1	120	160,48	161,46	0,98	12,01
D1#	023	168,64	170,11	1,47	18,01
D1	103	176,80	179,74	2,94	36,02
C1#	123	184,96	190,52	5,56	68,11

harmonique	combinaison	longueur réelle	longueur théorique	Delta (cm)	Delta (cent)
C1	000	136,00	136,00	0,00	0,00
B1	020	144,16	144,16	0,00	0,00
A1#	100	152,32	152,32	0,00	0,00
A1	120	160,48	161,46	0,98	12,01
G1#	023	168,64	170,11	1,47	18,01
G1	103	176,80	179,74	2,94	36,02
F1#	123	184,96	190,52	5,56	68,11

harmonique	combinaison	longueur réelle	longueur théorique	Delta (cm)	Delta (cent)
E2	000	136,00	136,00	0,00	0,00
D2#	020	144,16	144,16	0,00	0,00
D2	100	152,32	152,32	0,00	0,00
C2#	120	160,48	161,46	0,98	12,01
C2	023	168,64	170,11	1,47	18,01
B2 (dns)	103	176,80	179,74	2,94	36,02
A2# (dns)	123	184,96	190,52	5,56	68,11

harmonique	combinaison	longueur réelle	longueur théorique	Delta (cm)	Delta (cent)
C2	000	136,00	136,00	0,00	0,00
B2	020	144,16	144,16	0,00	0,00
A2#	100	152,32	152,32	0,00	0,00
A2	120	160,48	161,46	0,98	12,01
G2#	023	168,64	170,11	1,47	18,01
G2 (dns)	103	176,80	179,74	2,94	36,02
F1# (dns)	123	184,96	190,52	5,56	68,11

harmonique	combinaison	longueur réelle	longueur théorique	Delta (cm)	Delta (cent)

C3	000	136,00	136,00	0,00	0,00
B3	020	144,16	144,16	0,00	0,00
A3#	100	152,32	152,32	0,00	0,00
A3	120	160,48	161,46	0,98	12,01
G3#	023	168,64	170,11	1,47	18,01
G3 (dns)	103	176,80	179,74	2,94	36,02
F2# (dns)	123	184,96	190,52	5,56	68,11

harmonique	combinaison	longueur réelle	longueur théorique	Delta (cm)	Delta (cent)
G3	000	136,00	136,00	0,00	0,00
F2#	020	144,16	144,16	0,00	0,00
F2	100	152,32	152,32	0,00	0,00
E2 (dns)	120	160,48	161,46	0,98	12,01
D2# (dns)	023	168,64	170,11	1,47	18,01
D3 (dns)	103	176,80	179,74	2,94	36,02
C2# (dns)	123	184,96	190,52	5,56	68,11

* les valeurs sont exprimées en cm, les écarts en cm et en cents ;

* le chiffre 0 placé au rang d'une touche quelconque signifie que celle-ci est relevée. Ainsi, 000 équivaut à 0, 100 à 1, 020 à 2, 120 à 12, 023 à 23 et 103 à 13 ;

* La mention (dns) correspond à un doigté « non standard ».

3. Conséquences sur l'étirement des coulisses de piston

Les combinaisons comportant (au moins) 2 pistons abaissés (ie 120, 023, 103 et 123), particulièrement fausses, impliquent d'allonger les coulisses correspondantes.

Selon les calculs « théoriques » précédents, chaque coulisse concernée par un doigté donné (12, 23, 103 ou 123) devrait être allongée d'une demi-longueur par rapport à celle du tableaux ci-dessus (colonne 5). Ainsi, le doigté 103 impliquerait un allongement de $2,94 / 2 = 1,47$ cm.

Si l'instrument possède deux coulisses de pistons actionnables (en général, les coulisses 1 et 3), les corrections de longueur à apporter sont indiquées dans le tableau ci-après (dans lequel les longueurs sont approximées).

1	2	3	4	5
combinaison fautive	correction (cm)	allongement total (cm)	dont coulisse 1 (cm)	dont coulisse 3 (cm)
120	0,98	0,49	0,49	0,00
023	1,47	0,73	0,00	0,73
103	2,94	1,47	0,59	0,88
123	5,56	2,28	0,91	1,37

Lorsque l'instrument possède deux coulisses (1 et 3), on peut simplement répartir les allongements entre elles au prorata de leurs longueurs (ie 40 % et 60 %).

Si l'instrument ne possède qu'une seule coulisse de piston (3), l'allongement total (colonne 3) ne peut qu'être reporté sur celle-ci.

Les mouvements des lèvres permettent enfin, le cas échéant, de corriger (à la baisse) une partie de la hauteur de note résultant des actionnements précédents.

Comme indiqué au texte principal, il est utile de préparer l'interprétation d'un morceau donné en tenant compte, en particulier, des données suivantes : hauteur / fréquence des notes, vitesse / tempo (ou durée / figure des notes).

Un tableau du type suivant peut contribuer à guider la manoeuvre à suivre. Selon le risque de perception des défauts acoustiques, il sera plus ou moins indiqué de manoeuvrer les coulisses.

Niveaux de perceptibilité de la fausseté

		tempo / durée des notes		
		lent	medium	rapide
registre	aigu	3	2	1
	medium	2	1	3
	grave	5	4	3

graduation de 1 à 5 : 1 = faible, 2 = assez faible, 3 = moyen, 4 = assez élevé, 5 = élevé

4. Remarques diverses

4.1. Longueur de tuyau et fréquences émises

En notant F_0 la fréquence fondamentale (exprimée en Hz) d'un tuyau sonore, L sa longueur (hors tout exprimée en m) et C la vitesse du son dans l'air (~ 344 m/s à 20° au niveau de la mer), on montre que la fréquence fondamentale s'écrit :

$$F_0 = C / (2 \cdot L),$$

d'où une longueur :

$$L = C / (2 \cdot F_0).$$

Dans le cas d'une trompette en Bb, la fréquence fondamentale vaut $F_0 = 116,54$ Hz, et la longueur du tube vaut alors $L = 344 / 233,08 = 1,476$ m.

Cette mesure, souvent mentionnée, diffère de celle de la SML Paris (1,360 m), notamment pour des raisons géométriques (différence entre un tuyau sonore et une trompette dotée d'un pavillon : variations de diamètre du tube).

Longueur de la trompette Bb SML Paris

1. embouchure (zone externe)	6,5
2. embouchure (zone de vibration en entrée de cuvette)	0,5
3. perce	33,2
4. crosse de coulisse d'accord	12,5
5. branche de sortie du cylindre 3	13,8
6. entre milieux de cylindres 1 et 3	5,0
7. milieu du cylindre 1 jusqu'au pavillon	66,0
8. longueur totale (externe)	136,5

Unité : 1 cm

Notes

1. longueur de la crosse de coulisse d'accord = longueur de la coulisse d'accord - longueur de la branche supérieure - longueur de la branche inférieure = 28,1 - 8,6 - 7,0 cm = 12,5 cm
2. le « début » de l'instrument est compté à partir du bout des lèvres, zone de vibration qui pénètre l'embouchure d'environ 5 mm : c'est le point de départ de la vibration
3. toutes les coulisses sont supposées rentrées (longueurs minimales)

[**Note.** Lorsque l'instrument est, après échauffement, accordé à l'orchestre, la coulisse d'accord est généralement allongée (environ 1 cm). S'agissant d'une nouvelle longueur du tube principal, une correction de justesse avec les coulisses de pistons devrait être à nouveau effectuée]

4.2 Fausseté des instruments à vent

4.2.1. Tous les instruments à vent ont le même inconvénient que la trompette : ne pas respecter le tempérament des gammes.

Ainsi, la flûte, la clarinette ou le saxophone sont-ils faux pour des raisons analogues à celles de la trompette : ceci se produit essentiellement lorsque deux trous (au moins) sont bouchés (soit à l'aide des doigts, soit à l'aide des touches).

Dans une certaine mesure, les instruments à cordes (violon, contrebasse, guitare, etc) peuvent produire des notes plus ou moins exactes (position des doigts sur les cordes) selon la qualité de l'artiste ou la difficulté des passages à réaliser. Selon la qualité de l'accordage, un piano peut aussi révéler des tonalités « libres ».

4.2.2. A cette particularité s'ajoute la variation de « timbre », parfois très perceptible, selon le registre de l'instrument : cf chalumeau ou clairon de la clarinette.

4.2.3. Par suite, la perception « mélodique », autant que la perception « harmonique », des vents peut différer selon la tonalité de l'oeuvre à interpréter : ainsi, jouer un morceau dans le registre médian, avec un tempo modéré, avec une trompette peut conduire à un « rendu » différent s'il est écrit dans la gamme de La ou dans la gamme de Bb.

Le « clavecin bien tempéré » et tous les instruments dont la facture est calibrée « à l'oreille » ont, dans une certaine mesure, l'avantage d'une certaine homogénéité transpositrice.

Enfin, le cerveau humain ainsi que les propriétés physiologiques de l'oreille humaine impliquent notamment des phénomènes d'hystérésis : ainsi, selon la vitesse d'exécution des notes de musiques (tempo, figures de notes) et selon l'ampleur de l'inexactitude de leur exécution, la perception de la fausseté sera plus ou moins marquée. Ceci dépend aussi de l'acculturation de l'auditeur à la musique, de la continuité de son attention. Enfin, il existe une grande variabilité intrinsèque des fonctions physiologiques individuelles, laquelle correspond à des perceptions très variables : par suite, les appréciations personnelles relatives à l'exécution d'une oeuvre peuvent être très diverses.

4.2.4. Cependant, ces faussetés ou hétérogénéités instrumentales font aussi partie du charme et de l'attrait des instruments considérés, ce qui n'enlève guère à l'agrément d'écoute voire, au contraire, lui ajoute un certain « imprévu ».

La « coexistence » d'instruments « tempérés » et d'instruments « naturels » subsiste donc toujours dans les divers types de groupes musicaux (orchestres, bands, etc).