

Chapitre 5

Aérophones

1 Considérations acoustiques générales

Dans le cas des instruments à vent, la mise en vibration de l'air s'effectue par des interruptions brèves et répétées, complètes ou partielles, du jet d'air fourni par le musicien. Dans la plupart des cas, les interruptions sont obtenues par la vibration d'un corps solide, l'anche dans le cas des instruments à anche simple ou double, les lèvres du musicien dans celui des instruments à embouchure. Puisque le vibreur primaire est dans ces cas un corps solide (une ou deux lamelles en roseau, ou les lèvres tendues du musicien), on pourrait argumenter que ces instruments pourraient aussi bien être classés parmi les idiophones, pour les instruments à anche, ou les membranophones, pour ceux à embouchure. La classification a sans doute été influencée ici par une tradition ancienne qui veut que les instruments à anche et à embouchure soient considérés comme des instruments à vent.

Elle repose cependant aussi sur une considération d'ordre acoustique, savoir que la production du son et, particulièrement, le contrôle de sa hauteur, dépend moins du résonateur primaire que du reste de l'instrument. Ceci signifie aussi que les caractéristiques de vibration du vibreur primaire sont largement déterminées par celles du tuyau. Pour une clarinette ou un hautbois, ce ne sont pas les propriétés de l'anche qui déterminent la hauteur, mais bien la longueur du tuyau, le nombre de trous qui y sont ouverts, etc. On verra cependant, en particulier dans le cas des « aérophones libres », que la hauteur du son peut être déterminée par l'anche plutôt que par un tuyau : les instruments de ce type se trouvent véritablement à cheval sur les deux classes des idiophones (ou plus rarement des membranophones) et des aérophones. La classification prête donc ici le flanc à une critique qui n'est pas injustifiée. Les flûtes échappent à cette critique parce qu'il ne s'y trouve aucun corps solide en vibration.

Il faut examiner brièvement comment le tuyau peut contrôler la fréquence de vibration. Considérons le cas de la flûte. Au moment où l'air pénètre dans l'instrument, il crée une surpression locale si soudaine que celle-ci ne parvient pas à se répartir immédiatement dans tout l'instrument. Cette surpression augmente jusqu'à se faire égale à la pression du jet d'air qui la provoque. À ce moment, le jet d'air ne parvient plus à alimenter l'instrument et est repoussé vers l'extérieur ; par ailleurs, la surpression se vide en se déplaçant vers l'autre extrémité du tuyau, à la manière des bonshommes décrits au chapitre premier, § 5 (Propagation du son dans l'air, p. 9), ci-dessus. À l'extrémité du tuyau, parce que la propagation peut se faire désormais dans toutes les directions, plutôt que dans la seule direction du tuyau, celui-ci se vide plus rapidement : il se produit un phénomène d'inversion par lequel la compression initiale se transforme en dépression. Celle-ci aspire les molécules contenues dans le tuyau et remonte vers la bouche de la flûte. Le jet d'air soufflé par le musicien est à nouveau aspiré dans le tuyau, où il reconstitue la surpression initiale. Le cycle recommence.

La vitesse du déplacement de la surpression et de la dépression dans le tuyau est celle du son dans l'air, environ 340 m/seconde. La distance parcourue est égale à deux fois la longueur du tuyau, puisque la perturbation descend puis remonte¹. Si le tuyau (ou, plus précisément, sa partie vibrante) mesure 34 cm (soit 0,34 m), par exemple, la durée (la période) d'une vibration est d'environ deux millièmes de seconde. Il y a donc 500 vibrations par seconde, ce qui correspond approximativement à la note *si*³. Un tuyau un peu plus court mesurerait environ un pied et donnerait le *do*⁴ : c'est une mesure favorite des facteurs d'orgues, qui mesurent volontiers leurs tuyaux en pieds².

¹ On verra plus loin que les instruments du type de la clarinette peuvent faire exception à cette règle.

² Le pied britannique actuel mesure 30,5 cm, mais la mesure du pied a beaucoup varié au cours des siècles ; à chaque longueur différente correspond alors un *do*⁴ (et donc un diapason) différent. Les longueurs doublent d'octave en octave : *do*³ correspond à

2 Mécanismes vibrants

La classification des aérophones fait d'abord une distinction entre les « aérophones libres » (qui seront examinés ci-après) et les « instruments à vent proprement dits ». Ces derniers comportent généralement un tuyau (ou un volume d'air) qui détermine la hauteur du son. Dans ce cas, il y a couplage entre le tuyau et le mécanisme vibrant, couplage qui synchronise les vibrations de l'un et de l'autre. Dans la plupart des cas, c'est le tuyau qui impose sa fréquence propre : il suffit alors que le mécanisme vibrant soit capable de vibrer à la fréquence du tuyau. Comme les tuyaux sont généralement capables de vibrer à de nombreuses fréquences, le musicien doit adapter les caractéristiques du mécanisme vibrant, par exemple en soufflant plus ou moins fort, en tenant plus ou moins fortement l'anche entre les lèvres, ou en tendant les lèvres sur l'embouchure, pour maintenir la compatibilité avec la fréquence du tuyau. Dans d'autres cas cependant, c'est le mécanisme vibrant lui-même qui impose sa fréquence, à laquelle il faut alors que le tuyau puisse s'adapter. Les différents mécanismes vibrants seront examinés d'abord, pour discuter la manière dont ils s'adaptent au tuyau.

2.1 Biseau

Les aérophones à biseau sont les différents types de flûtes. Le jet d'air est dirigé, soit par un conduit d'insufflation (flûte à bec), soit par les lèvres du musicien (flûte traversière, etc.), vers un biseau situé à l'extrémité distante d'une ouverture, la bouche. Le jet se brise sur le biseau, ce qui provoque des tourbillons de part et d'autre. Le tuyau synchronise les mouvements du jet, qui est alternativement attiré vers l'intérieur du tuyau et repoussé à l'extérieur, comme on l'a vu plus haut : le tuyau, en d'autres termes, force les oscillations du jet d'air. Il suffit d'assurer un niveau de compatibilité suffisante entre les caractéristiques de l'un et de l'autre : c'est ce que fait le musicien en accordant la puissance du souffle avec la ou les notes à produire.

2.2 Anche double

L'anche double est faite de deux lames de roseau s'appuyant l'une contre l'autre et dont la vibration ouvre et ferme le passage entre elles. Les lames sont montées généralement par ligature sur un petit morceau de tuyau de perce étroite. Le tuyau de l'instrument lui-même est donc nécessairement étroit à proximité de l'anche : c'est la raison pour laquelle les anches doubles sont généralement associées à des tuyaux coniques. Comme dans le cas des flûtes, la fréquence de vibration est déterminée essentiellement par les caractéristiques du tuyau, auxquelles l'anche peut s'adapter dans un ambitus relativement large, notamment grâce à la pression des lèvres de l'instrumentiste.

2.3 Anche battante

L'anche simple battante ferme le passage de l'air en s'appuyant (en « battant ») sur son support. Dans le cas de la clarinette, contrairement à ce qui se produit dans les autres instruments à vent, le cycle complet de vibration comporte quatre étapes :

- 1) La compression créée par l'insufflation se propage vers le pavillon, où elle se transforme en dépression ;
- 2) La dépression remonte vers le bec de l'instrument. Au lieu d'aspirer le souffle du musicien, comme dans les autres instruments, elle aspire l'anche qui vient « battre » son support et qui le ferme complètement : l'air ne peut plus pénétrer dans l'instrument³ et la dépression repart dans la direction du pavillon.

deux pieds, *do*₂ à quatre pieds, *do*₁ (le *do* qui s'écrit deux lignes supplémentaires sous la clef de *fa*) à huit pieds. Cette mesure, huit pieds, devient une expression pour décrire le diapason (approximativement) normal : un « jeu de huit pieds » est au diapason normal, aujourd'hui *la*₃=440 Hz, alors qu'un « jeu de six pieds » est une quarte plus haut. Toutes ces mesures sont de toute manière fort approximatives.

³ C'est la raison pour laquelle on dit que le tuyau de la clarinette se comporte comme un tuyau « bouché » à l'extrémité d'insufflation ; il va de soi qu'il n'est bouché que pendant une partie de la vibration, sans quoi le jeu serait impossible. On notera au passage que les autres instruments, en particulier ceux à bouche peuvent être bouchés³ à leur extrémité éloignée du dispositif de mise en vibration : ils sonnent alors une octave plus bas. Cette propriété a été utilisée à l'orgue, où la construction de tuyaux à

- 3) La dépression parcourt toute la longueur de l'instrument et s'inverse en compression au pavillon.
- 4) La compression remonte vers le bec, où elle écarte l'anche, permettant à nouveau l'entrée du vent : on en revient ainsi à la situation en 1) ci-dessus et le cycle recommence.

La durée totale du cycle comporte donc quatre parcours de la longueur de l'instrument au lieu de deux pour les autres instruments à vent : à longueur égale, la clarinette sonne une octave plus grave que les autres. Ce phénomène se produit en particulier lorsque le tuyau est cylindrique. Dans le cas d'un tuyau conique, la dépression qui remonte vers le bec se comble partiellement en raison de son confinement dans un tuyau de plus en plus étroit ; il peut arriver alors qu'elle ne suffise pas à fermer complètement le bec. Le vent, attiré par la dépression, pénètre alors dans le tuyau dès la fin de l'étape 2) de la description ci-dessus et l'instrument se comporte comme un tuyau « ouvert » à l'extrémité d'insufflation — c'est le cas du saxophone.

2.4 Anche libre

L'anche libre ne ferme le passage du vent qu'au moment où elle traverse la plaque dans laquelle elle est montée, mais elle ouvre le passage de part et d'autre de cette plaque. Elle ne se synchronise donc pas aisément avec la fréquence propre d'un tuyau ou d'un volume d'air et fonctionne plus souvent à sa fréquence propre : ceci se manifeste notamment dans le fait que l'accord de l'instrument n'est pas obtenu par une variation de la longueur du tuyau, mais bien par une opération sur l'anche elle-même, alourdie par l'adjonction de métal (plomb ou étain fondu) ou assouplie par un ponçage. Le cas de l'orgue à bouche chinois est particulier : l'anche libre est placée ici à l'extrémité d'un long tuyau de perce étroite et percé d'un trou à sa base. L'anche ne sonne que si le trou du tuyau correspondant est bouché, parce que ce n'est que dans ce cas que le couplage anche/tuyau est opérant ; la longueur vibrante du tuyau n'est pas cruciale mais, lorsque le trou à sa base est ouvert, la longueur vibrante est trop petite pour les propriétés de l'anche. Mais ce sont les caractéristiques de l'anche, plutôt que celles du tuyau, qui déterminent la hauteur du son : c'est la raison pour laquelle l'orgue à bouche est classé parmi les « aérophones libres », comme presque tous les instruments à anche libre.

2.5 Embouchure

Les lèvres du musicien s'appuient sur une coupelle qui favorise leur tension. Elles se comportent approximativement comme une anche double, s'ouvrant et se fermant en fonction de la pression dans la coupelle. La vibration est normalement synchronisée par les caractéristiques du tuyau, mais la puissance musculaire des lèvres d'un musicien expérimenté peut forcer des vibrations (donc des notes) qui ne correspondent pas à la théorie simplifiée exposée ci-dessus.

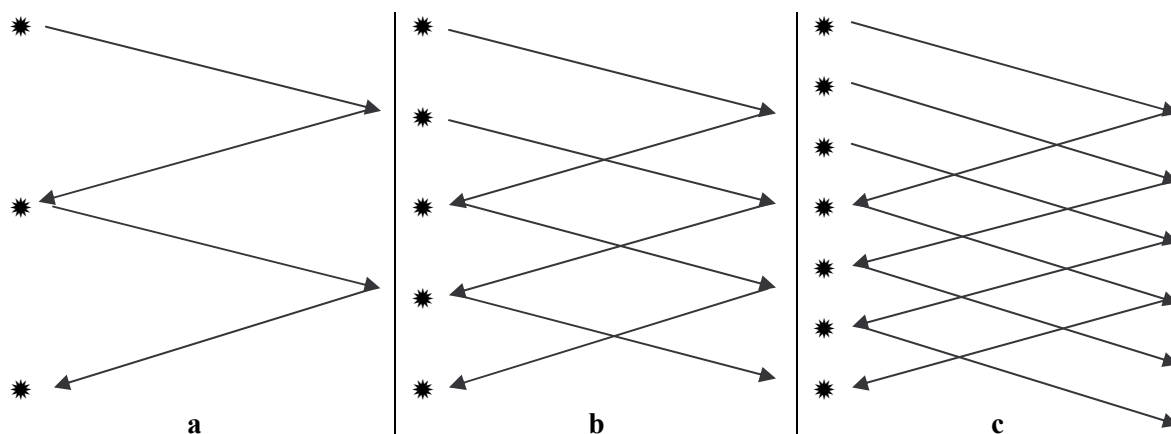
3 Tuyaux

C'est donc le tuyau, dans la plupart des cas, qui impose sa fréquence au mécanisme vibrant. Il faut donc examiner brièvement comment il est possible de modifier la fréquence produite par les tuyaux. On a vu plus haut que la période de vibration, donc la fréquence, est déterminée par la longueur du parcours effectué par les variations de pression à l'intérieur du tuyau. La modification de la fréquence se fait donc par la modification de cette longueur : on envisagera donc une longueur vibrante qui n'est pas nécessairement la longueur apparente du tuyau.

3.1 Harmoniques

Un tuyau ne comportant aucun dispositif d'allongement ou de raccourcissement ne peut faire sonner que les premières notes de la série harmonique (voir chapitre premier, p. 5). Ce phénomène peut s'expliquer de la façon suivante. On a vu plus haut comment le retour de la perturbation initiale, après son parcours dans le tuyau, synchronise le mécanisme vibrant en le forçant à s'ouvrir pour

laisser passer le vent. Mais, dans l'intervalle de temps qui sépare la perturbation initiale de son retour, le mécanisme vibrant peut produire une ou plusieurs autres surpressions — pour autant qu'il se soumette à la contrainte du retour de chacune des perturbations. Un instant de réflexion montre que le mécanisme vibrant peut vibrer à la fréquence de base du tuyau, mais aussi deux fois plus vite, ou trois fois plus vite, etc. C'est ce que tente de montrer le schéma ci-dessous :



La figure se lit de haut en bas et représente des mouvements successifs du déplacement des perturbations de pression dans le tuyau. Les perturbations initiales sont représentées par le signe * et les flèches indiquent le déplacement vers l'autre extrémité (conventionnellement la droite), puis retour (vers la gauche). La colonne **a** représente la vibration fondamentale, telle qu'elle a été décrite jusqu'ici : le cycle vibratoire reprend chaque fois que la perturbation est revenue à son point de départ. La colonne **b** montre comment il est possible que le mécanisme vibratoire vibre deux fois plus vite, produisant donc deux fois plus de perturbations, tout en respectant les conditions fondamentales, savoir que le passage de l'air s'ouvre à chaque retour de la perturbation — c'est-à-dire après la période normale du déplacement aller-retour dans le tuyau. La colonne **c** montre une vibration triple. Les seuls modes de vibration du mécanisme vibrant qui respectent les conditions imposées par le tuyau sont ceux qui assurent un synchronisme avec le retour des vibrations. Un instant de réflexion montre que les seules vibrations possibles sont celles dont la fréquence est un multiple entier de la fréquence de base : le mécanisme vibrant peut vibrer à une fréquence deux, trois, éventuellement quatre fois plus élevée (ou plus encore) que celle du tuyau, mais à aucune autre. On notera en outre que dans les modes de vibration autres que le premier, les perturbations se croisent à l'intérieur du tuyau. Comme celles qui se déplacent de l'embouchure vers l'autre extrémité sont des compressions, alors que celles qui remontent vers l'embouchure sont des dépressions, le croisement fait se rencontrer une compression et une dépression, qui s'annulent l'une l'autre : il existe alors à l'intérieur du tuyau, et pour chaque mode de vibration, des points qui ne sont pas soumis à variation de pression (mais où les molécules sont néanmoins animées d'une vitesse élevée) : on les appelle « nœuds » de vibration. Comme on peut le voir dans la figure ci-dessus, il y a un nœud au centre du tuyau dans le cas de la vibration double (colonne **b**), deux nœuds à un tiers et à deux tiers de la longueur dans le cas de la vibration triple (colonne **c**), etc. En d'autres termes, les modes de vibration correspondant aux sons harmoniques subdivisent le tuyau en autant de zones de même longueur séparées par des nœuds.

3.2 Instruments « naturels »

On appelle « naturels » les instruments à vent qui ne peuvent produire que des sons harmoniques, comme la trompette naturelle, le clairon ou le cor de chasse. Ces instruments à embouchure sont capables de produire un nombre assez élevé d'harmoniques en raison de leur perce étroite⁴ ; ils sont utilisés particulièrement pour donner des signaux (militaires ou autres) fondés sur les arpèges que produit la série des harmoniques. L'exemple ci-dessous reproduit la sonnerie « À cheval » du manuscrit d'André Philidor (1705)⁵ : on voit que la trompette n'utilise que les notes *sol2-do3-mi3-sol3-do4*, correspondant

aux sons 3, 4, 5, 6 et 8 de la série harmonique (voir p. 5). Le son 7, qui serait un *si♭3* trop bas, n'est pas



utilisé. Les sonneries de cor de chasse utilisent souvent des harmoniques plus élevés encore, parmi lesquels l'harmonique 7 et l'harmonique 11 sont caractéristiques par leur manque de justesse⁶. Il faut noter que ces instruments, en raison de leur longueur et de l'étroitesse de leur perce, sont incapables de produire ni leur fondamentale théorique, ni même ses premiers harmoniques : cela signifie que le premier mode de vibration réalisable est, au mieux, celui que décrit la colonne c du schéma ci-dessus ; c'est d'ailleurs ce qui semble être le cas de la trompette envisagée par Philidor, puisque son ambitus débute précisément à l'harmonique 3.

3.3 Dispositifs de modification de la longueur du tuyau

Pour obtenir les notes intermédiaires entre les sons harmoniques, il faut allonger ou raccourcir le tuyau, qui jouera alors une fondamentale différente, accompagnée elle aussi de ses harmoniques. Par exemple, si un tuyau dont la fondamentale est *do* permet de jouer les notes *sol2-do3-mi3-sol3-(si♭3)-do4*, comme la trompette de Philidor dans l'exemple ci-dessus, le raccourcissement de ce tuyau d'un demi ton (environ 6 %) permettra d'obtenir une fondamentale *do♯* et les harmoniques correspondantes, *sol♯-do♯-mi♯-sol♯-(si)-do♯*, etc. Un second raccourcissement d'un demi-ton permettra d'obtenir les harmoniques de *ré*, et ainsi de suite.

Trois dispositifs de raccourcissement de la longueur du tuyau seront examinés ici : ils semblent les plus courants, sinon les seuls. Ce sont les coulisses, les trous latéraux et les tuyaux additionnels (pistons).

3.3.1 Coulisses

Le dispositif à coulisse est assez simple à décrire : le tuyau est allongé ou raccourci en étirant ou en repoussant une partie coulissante. Des instruments du type du trombone à coulisse existaient déjà au Moyen Âge. Une difficulté de ce système est que l'étanchéité est assez difficile à réaliser ; la perce de l'instrument est nécessairement cylindrique, pour que les tuyaux coulissant l'un dans l'autre soient constamment en contact.

Un autre système comparable à la coulisse est celui du piston coulissant à l'intérieur d'un instrument, qui est alors bouché par le piston (ce système n'est donc pas applicable à des instruments du type de la clarinette, qui est déjà partiellement bouchée : voir la note 3 de ce chapitre). Certaines flûtes et certains hautbois populaires fonctionnent de cette manière.

Une caractéristique de ces dispositifs à coulisse est qu'ils peuvent faire varier la hauteur du son en continu : contrairement aux systèmes décrits ci-dessous, ils ne sont pas limités à la production

⁴ Le mot « perce » désigne le diamètre intérieur du tuyau ou, de manière un peu imprécise, le rapport du diamètre à la longueur.

⁵ D'après W. BARCLAY SQUIRE e. a., « Military Calls », *The New Grove*, 1^e éd., London, Macmillan, 1980, vol. 12, p. 319.

⁶ Dans le cas des instruments à embouchure, l'usage est d'appeler *do* la fondamentale de l'instrument, quel que soit son diapason. Le *do* de telle trompette a la hauteur d'un *si♭*, de telle autre celle d'un *ré* ou d'un *mi♭*, mais le trompettiste dit (et lit) toujours *do*. C'est en ce sens que ces instruments sont transpositeurs ; on parle alors de trompette en *si♭*, en *ré*, en *mi♭*. À partir d'une fondamentale *do*, l'harmonique 7 est un *si♭* trop bas de près d'un quart de ton, l'harmonique 11 est un *fa* trop haut d'un quart de ton.

d'un petit nombre de hauteurs discrètes. Les musiciens mémorisent cependant des positions de la coulisse correspondant aux différentes notes.

3.3.2 Trous latéraux

Les instruments percés de trous latéraux permettent généralement de faire sonner leur fréquence fondamentale (harmonique 1), son octave supérieure (harmonique 2), sa douzième supérieure (harmonique 3) et sa double octave (harmonique 4). Pour que les instruments de ce type puissent produire une échelle chromatique, il faudrait douze dispositions différentes des doigts entre l'harmonique 1 et l'harmonique 2. Mais les deux mains ne comptent que dix doigts, ce qui impose divers artifices (trous doubles, trous à moitié ouverts, doigtés fourchus).

On peut considérer en première approximation que l'ouverture d'un trou latéral raccourcit d'autant la longueur vibrante, qui s'étend alors depuis le mécanisme vibrant jusqu'au premier trou ouvert. Mais cette description est trop simple : parce que le diamètre du trou est nécessairement inférieur à celui de l'instrument lui-même, la longueur vibrante n'est pas complètement limitée à l'emplacement du trou ; les trous plus éloignés continuent d'exercer un effet sur l'ensemble. C'est ce qui rend possible les « doigtés fourchus », où un trou est ouvert entre deux trous fermés. L'analyse détaillée du fonctionnement des trous latéraux est particulièrement complexe et ne sera pas entreprise ici. Il faut noter seulement que, dans le cas des instruments en bois en particulier, les trous latéraux sont plus précisément de petits tuyaux latéraux, dont la longueur est égale à l'épaisseur du bois de l'instrument. Ces tuyaux latéraux ne sont pas nécessairement cylindriques, ni nécessairement perpendiculaires au tube principal. Les trous peuvent être coniques (ce qui permet un ajustage de leur effet sur la hauteur) et percés en biais, de telle sorte que leur écartement en surface soit compatible avec les doigts du musicien, alors que les ouvertures dans le tube principal sont plus écartées (ceci est particulièrement manifeste dans le cas du basson).

Les instruments anciens étaient généralement percés de huit trous : six trous (deux fois trois) pour l'index, le médium et l'annulaire de chaque main, un trou à l'arrière pour le pouce de la main tenue la plus proche de l'extrémité d'insufflation et un trou pour le petit doigt de la main placée en position inférieure. Il est d'usage aujourd'hui que la main gauche se place au-dessus de la main droite : le trou pour le petit doigt de la main inférieure est légèrement décalé vers la droite. Autrefois, le facteur était contraint de créer deux trous pour le petit doigt, un de chaque côté, pour laisser le choix de la position des mains au musicien ; celui-ci bouchait le trou inutilisé avec de la cire.

Aujourd'hui, la plupart des trous des instruments de l'orchestre occidental sont couverts par des clés. On distingue les clés ouvertes, qui laissent le trou ouvert en position de repos et qui le ferment lorsqu'on appuie dessus, et les clés fermées, qui ferment le trou en position de repos et l'ouvrent lorsqu'on les joue. Dans certains cas les trous sont couverts par un anneau, ce qui permet, par un jeu de tringles, de fermer ou d'ouvrir d'autres trous lorsqu'on ferme le trou principal. Plus souvent encore, les trous sont couverts par des plateaux munis d'un tampon qui assurent une meilleure fermeture que les doigts eux-mêmes et qui, surtout, permettent de créer des trous dont le diamètre est déterminé exclusivement pour des raisons acoustiques, sans tenir compte de la dimension des doigts du musicien. La flûte traversière moderne (système Boehm), par exemple, est percée de treize trous principaux recouverts de plateaux et d'un nombre variable de trous plus petits facilitant certains doigtés ou des trilles et recouverts par des clés ; une tringlerie complexe met le tout à portée du musicien. La flûte joue sur trois registres distants d'une octave (l'harmonique 3, à la douzième du fondamental, n'est pas utilisée), avec des doigtés plus ou moins semblables dans chacune des octaves ; les doigtés permettent d'obtenir les douze notes de la gamme chromatique dans chacune des octaves.

Il faut dire un mot du galoubet, flûte à trois ou quatre trous qui, malgré ce nombre limité de trous, peut jouer une gamme diatonique sur près de deux octaves. La perce est étroite, de sorte que la première note utilisable est l'octave de la fondamentale (harmonique 2). L'ouverture d'un, deux ou trois trous produit trois longueurs supplémentaires qui donnent les premières notes de la gamme diatonique — par exemple, pour un fondamental *ré*, les notes *mi*, *fa* et *sol*. Un souffle plus fort fait sauter à la quinte (harmonique 3) — dans le cas de la même flûte en *ré*, on obtient donc la note *la*, puis, avec les mêmes ouvertures des trous, *si*, *do* et *ré*. Un souffle plus fort encore produit l'octave (harmonique 4) — *ré*, *mi*, *fa* et *sol*. Dans certains cas, il est possible encore d'obtenir l'harmonique 5

et les notes correspondantes — *fa*♯, *sol*♯, *la* et *si*, etc. Le galoubet est construit pour pouvoir être joué d'une main, tandis que l'autre frappe un tambour.

3.3.3 Tuyaux additionnels

Le dernier procédé de modification de longueur des tuyaux est l'adjonction de tuyaux additionnels, commandée par des valves (pistons). Les instruments du type de la trompette moderne produisent pour note la plus grave l'harmonique 2, conventionnellement appelée *do*⁷. Comme sur les instruments naturels, il est possible de produire les harmoniques suivantes : *sol*, *do*, *mi*, *sol*, *si*♭, *do*, etc. Les tuyaux additionnels devront donc permettre de combler chromatiquement l'intervalle entre l'harmonique 2 et 3, soit une quinte ; ils devront faire monter ou faire baisser le son d'un, deux, trois, quatre, cinq ou six demi-tons pour produire, à partir du *do*, les notes *do*♯, *ré*, *mi*♭, *mi*, *fa* et *fa*♯ (pistons « ascendants ») ou, à partir du *sol*, les notes *fa*♯, *fa*, *mi*, *mi*♭, *ré* et *do*♯ (pistons « descendants »). La distinction entre pistons ascendants et descendants tient en ceci que, dans le cas des premiers, les tuyaux additionnels sont normalement connectés et l'appui sur les pistons les débranche, faisant monter le son, tandis que dans le cas des seconds il faut pousser sur les pistons pour connecter les tuyaux additionnels et faire descendre le son. Comme les instruments à coulisse, les instruments à tuyaux additionnels doivent être au moins partiellement cylindriques : les longueurs variables des tuyaux additionnels ne permettraient pas, en effet, une conicité régulière.

Les modifications de longueurs sont généralement réalisées au moyen de trois tuyaux additionnels et de trois pistons, aujourd'hui le plus souvent descendants. Les longueurs des tuyaux correspondent à un ton (piston 1, le plus proche de l'embouchure), un demi-ton (piston 2, piston central) et un ton et demi (piston 3, le plus proche du pavillon). Ces pistons et les tuyaux additionnels correspondants peuvent être joués en combinaison : il est possible par exemple de descendre de deux tons en appuyant simultanément sur les pistons 2 (un demi-ton) et 3 (un ton et demi). Le tableau ci-dessous indique quelles notes peuvent être obtenues à partir de chacun des harmoniques de base (ceux-ci étant produits sans aucun piston).

Harmonique	– ½ ton (piston 2)	– 1 ton (piston 1)	– 1 ton ½ (piston 3 ou pistons 1+2)	– 2 tons (pistons 2+3)	– 2 tons ½ (pistons 1+3)	– 3 tons (pistons 1+2+3)
2 (<i>do</i> 3)	<i>si</i> 2	<i>si</i> ♭2	<i>la</i> 2	<i>la</i> ♭2	<i>sol</i> 2	<i>fa</i> ♯2
3 (<i>sol</i> 3)	<i>fa</i> ♯3	<i>fa</i> 3	<i>mi</i> 3	<i>mi</i> ♭3	<i>ré</i> 3	<i>do</i> ♯3
4 (<i>do</i> 4)	<i>si</i> 3	<i>si</i> ♭3	<i>la</i> 3	<i>sol</i> ♯3	<i>sol</i> 3	<i>fa</i> ♯3
5 (<i>mi</i> 4)	<i>mi</i> ♭4	<i>ré</i> 4	<i>do</i> ♯4	<i>do</i> 4	<i>si</i> 4	<i>si</i> ♭4
6 (<i>sol</i> 4)	<i>fa</i> ♯4	<i>fa</i> 4	<i>mi</i> 4	<i>mi</i> ♭4	<i>ré</i> 4	<i>do</i> ♯4

Comme on le voit, certaines notes peuvent être obtenues par plusieurs combinaisons. Le *do*♯4, par exemple, peut être joué soit à partir de l'harmonique 6 au moyen des pistons 1+2+3, soit à partir de l'harmonique 5 au moyen des pistons 1+2 ou 3.

Le problème du système des combinaisons est que les longueurs des tuyaux additionnels doivent être adaptées à celles du tuyau qu'elles allongent. Les trois tuyaux devraient allonger de 12% (un ton), de 6% (un demi-ton) et de 19% (un ton et demi), respectivement. La longueur du tuyau d'une trompette moderne en *si*♭ est d'environ 130 cm ; les longueurs des tuyaux additionnels devraient être respectivement de 15,9 cm (un ton), 7,7 cm (un demi ton) et 24,6 cm (un ton et demi). Cependant, si le piston 3, par exemple, est déjà enfoncé, la longueur du tuyau est devenue 154,6 cm ; les longueurs des deux premiers pistons devraient être alors de 18,9 cm et 9,2 cm respectivement. Les facteurs doivent donc réaliser des compromis qui réalisent une justesse suffisante dans toutes les combinai-

⁷ Voir la note 6 ci-dessus.

sons ; de plus, le tuyau additionnel du piston 3 est généralement muni d'une coulisse que le musicien peut ajuster pendant le jeu pour corriger la justesse.

On a imaginé, pour éviter le problème des combinaisons, de construire des instruments à six pistons indépendants, produisant respectivement les abaissements des six colonnes du tableau ci-dessus, sans qu'aucune combinaison ne soit jamais utilisée. Mais ces instruments, pour de multiples raisons, n'ont pas connu le succès escompté.

Certains instruments à pistons comportent un quatrième piston dont l'usage est un peu différent : il modifie le diapason de l'instrument, transformant par exemple une trompette ou un cor en *si*♭ en une trompette ou un cor en *fa* (le piston descend dans ce cas d'une quarte, avec les mêmes problèmes de justesse de combinaisons que ci-dessus).

4 Aérophones libres

Les aérophones libres sont ceux qui mettent l'air en vibration sans qu'il soit confiné dans un tuyau ou un volume. Il s'agit dans plusieurs cas d'objets sonores qui ne peuvent pas réellement être considérés comme des instruments de musique : épée ou fouet fendant l'air, ventilateur, brin d'herbe fendu, ou encore pistolet tirant un coup de feu. Deux catégories concernent des instruments véritablement musicaux : celles des anches battantes (412.12) et des anches libres (412.13) sans tuyaux. Ce qui distingue le fonctionnement de ces instruments de celui de la clarinette ou du hautbois, c'est qu'en l'absence de tuyau la fréquence de vibration est entièrement déterminée par l'anche.

La régale (412.122) est un jeu d'orgue à anches battantes (du type des anches de clarinette, mais faites de languettes de métal) ; il y a souvent des tuyaux, servant à diffuser le son dans l'air, mais dans la longueur n'est pas critique. L'accord se réalise par le déplacement d'un ressort mobile appuyé sur l'anche métallique, qui en modifie la longueur vibrante. Le cas de l'orgue à bouche est semblable, sinon que son anche est une anche libre (412.132). D'autres instruments à anche libre, l'accordéon ou l'harmonica, n'ont pas de tuyau.

Il faut souligner que la catégorie des aérophones libres à anche (412.1) est l'une des plus problématiques de la classification Hornbostel-Sachs. Les instruments qu'elle décrit fonctionnent par la vibration d'une lame de roseau ou de métal — de ce point de vue, ce sont donc des idiophones, plus précisément des idiophones soufflés. Le nom donné à cette catégorie, « aérophones idiophones », illustre bien cette ambiguïté. Les auteurs ont probablement été influencés ici par l'usage courant qui veut que des instruments comme l'orgue de régale, l'accordéon ou l'harmonica soient considérés comme des instruments à vent.

5 Instruments à vent proprement dits

Les trois catégories établies ici correspondent aux trois mécanismes de mise en vibration décrits plus haut : biseau, anche ou embouchure. Selon certains auteurs, tous ces instruments peuvent être considérés comme des instruments à anche : dans le cas du biseau, l'anche est la lame d'air qui oscille de part et d'autre du biseau (« anche aérienne ») ; dans celui de l'embouchure, ce sont les lèvres du musicien qui font office d'anche (« anche lippale »).

5.1 Instruments à biseau

Le jet d'air peut être dirigé vers le biseau soit par les lèvres du musicien, comme dans le cas de la flûte traversière, soit par un bec ou un autre dispositif formant conduit d'insufflation (flûte à bec). Lorsqu'il n'y a pas de tuyau d'insufflation, la bouche peut se trouver à l'extrémité supérieure de l'instrument — qui se réduit alors pratiquement à un tuyau ouvert, sur le bord duquel on souffle — ou sur le côté comme dans le cas de la flûte traversière. Pour le conduit d'insufflation, la classification envisage deux cas : conduit extérieur, formé par exemple d'une rainure dans la paroi de la flûte, fermée par un anneau extérieur ; ou intérieur, formé d'une rainure dans la perce, fermée par un bloc enfoncé dans la flûte. En raison de la relative simplicité des dispositifs d'insufflation, les flûtes

peuvent comporter plusieurs tuyaux en nombre assez élevé, comme la flûte de pan. Par ailleurs, le tuyau peut être remplacé par un récipient (ocarina, sifflets).

5.2 *Instruments à anche*

Les distinctions se font entre les trois types d'anche examinés plus haut : anche double (instruments appelés génériquement « hautbois »), anche battante (« clarinettes ») et anche libre, puis entre les perces, cylindrique ou conique. On constate que, contrairement à une idée répandue, il n'y a pas concordance entre le type d'anche et le type de perce : des instruments à anche double peuvent être cylindriques (comme le cromorne de la Renaissance) et des instruments à anche battante peuvent être coniques (comme le saxophone). L'*aulos* et l'*aulos* double de l'Antiquité sont classés par Hornbostel-Sachs parmi les instruments à anche double ; il semble bien aujourd'hui que l'*aulos* antique a parfois été un instrument à anche simple, comparable aux clarinettes sardes actuelles.

5.3 *Instruments à embouchure*

Ces instruments portent le nom générique de « trompettes ». Le premier niveau de distinction sépare les instruments « naturels » de ceux qui comportent un dispositif de modification de la longueur vibrante. Parmi les trompettes « naturelles », ne produisant que les harmoniques d'une seule fondamentale, Hornbostel-Sachs distinguent les conques, coquillages en spirale, des trompettes tubulaires ; il faut noter cependant que certaines de celles-ci peuvent être faites de matériaux naturels : défenses d'éléphants ou cornes. Les trompettes « chromatiques » sont subdivisées suivant le dispositif de modification de la longueur vibrante : il s'agit des trois dispositifs examinés plus haut.

* * *

Comme les autres classes, celle des aérophones se termine par une liste de suffixes qui précisent des caractéristiques importantes des instruments. On y trouve notamment le suffixe –6 qui dénote les instruments à réservoir, orgues ou cornemuses, qui constituaient une catégorie à part dans la classification de Mahillon : Hornbostel et Sachs, contrairement à Mahillon, considèrent les orgues et les cornemuses comme des assemblages de plusieurs instruments. L'orgue peut assembler des instruments à bouche et des instruments à anche ; la cornemuse peut assembler des instruments à anche double et à anche simple.

Le suffixe –7 est prévu ici pour distinguer les instruments naturels des instruments chromatiques dans le cas des instruments à bouche ou à anche, où cette distinction n'était pas faite dans la classification proprement dite, alors qu'elle constitue le premier niveau de distinction des instruments à embouchure : c'est encore une petite inconséquence du système.

