

Une cloche de verre frottée se déforme de la même façon qu'une cloche percutée, mais la mise en mouvement est différente : le principe d'entretien des vibrations sur un verre que l'on fait chanter est comparable à celui de l'archet sur la corde du violon ; c'est celui du coller-glisser (*stick-slip*). Le violoniste enduit les crins de l'archet de colophane (une résine) avant de jouer ; le joueur d'harmonica de verre, lui, mouille ses doigts. Lorsque l'archet entre en contact avec la corde, l'adhérence (*stick*) fait qu'il entraîne celle-ci, jusqu'au moment où la force d'adhérence devient inférieure à la force qui rappelle la corde en arrière : la corde glisse (*slip*). L'archet ou le doigt continuant leur mouvement, ils accrochent de nouveau la corde, qui est de nouveau entraînée, et ainsi de suite.

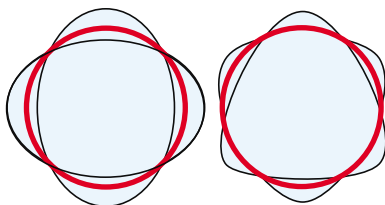
La friction du bord supérieur d'une coupe excite la fréquence propre la plus basse de la coupe (le fondamental). Comme pour la cloche, diverses fréquences sont émises lors de l'attaque, mais l'entretien de la vibration rend le fondamental prééminent. Une impression musicale de «pureté» et de «richesse» se dégage. Cette richesse peut être un souci pour l'instrumentiste : alors qu'il attaque une note, un manque d'eau ou bien une pression ou une vitesse d'entraînement inappropriées font parfois sonner plus fortement l'une des fréquences harmoniques. Cet effet, que l'exécutant cherche évidemment à éviter, n'est jamais bien grave, car les harmoniques restent dans des rapports harmonieux. La richesse en fréquences permet de rendre plaisants des rapports de notes qui seraient désagréables sur d'autres instruments, l'oreille pouvant rechercher, au sein des spectres de deux notes très rapprochées, les rapports qui apaisent les tensions internes de l'accord. Ce principe de mise en vibration engendre des timbres qui enthousiasment les auditeurs. La tessiture va du *sol* à 97,99 hertz au *do* à 1 046,5 hertz, soit quatre octaves et une tierce (de la note basse du baryton à la note aiguë de la soprano, elle est comparable à celle d'un violon alto qui émettrait davantage vers les graves).

Les musiciens ont créé pour le séraphin des méthodes et des œuvres. Gluck (1714-1787), par exemple, en sera un bon interprète. Le répertoire exécuté est constitué d'œuvres originales, d'adaptations de musique religieuse et d'airs à la mode. Cette tradition de musique religieuse sur séraphin se

maintiendra dans les pays anglosaxons durant tout le XIX^e siècle.

Toutefois, si les timbres enchanteur, les difficultés d'interprétation et les limites techniques restreignent le jeu. Ainsi, on fait difficilement tourner le doigt à vitesse régulière sur les verres immobiles. De surcroît, au XVIII^e siècle, l'accordage résulte d'un remplissage partiel des verres : le liquide modifie les vibrations, parce qu'il augmente l'inertie du système, et vous pouvez vous convaincre que plus le verre est plein, plus la note émise est basse. Ce type d'accordage présente des inconvénients : comme le liquide s'évapore, l'exécutant doit réaccorder souvent l'instrument ; en outre, le jeu est limité en tessiture, car, quand on emplit le verre, il «sonne» moins (la surface d'oscillations est réduite) et le timbre s'appauvrit.

La fabrication de verres préalablement accordés et toujours vides évite cet inconvénient, mais le jeu reste difficile : avec le séraphin, on ne peut exécuter des accords que de six notes, et avec difficulté.



5. LES VERRES FROTTÉS des séraphins et des harmonicas, tout comme les cloches de verre, sonnent parce qu'ils se déforment périodiquement, après qu'on les a écartés de leur position d'équilibre. Plusieurs modes de vibration sont simultanés (en haut, on en a représentés deux : les verres oscillent entre les deux courbes noires). La photographie inférieure montre, à l'aide d'eau placée dans une coupe, comment cette dernière vibre quand on l'excite par «glisser-coller».

Benjamin Franklin perfectionne alors l'instrument. Rédacteur de la constitution des États-Unis, Franklin est aussi l'inventeur du paratonnerre, de cheminées, de verres à double foyer et de dispositifs d'éclairage, critique musical et compositeur ; il fréquente assidûment les concerts, ainsi que le salon de Mme Brillon de Jouy. Fasciné par le timbre du séraphin, il décide d'en rendre l'emploi plus musical en résolvant un à un les problèmes que celui-ci pose à l'interprète et au compositeur.

Franklin, inventeur de l'«armonica»

Tout d'abord, il accorde des cloches (ainsi, il n'y a plus à réaccorder l'instrument en cours de jeu par la hauteur d'eau), qu'il assemble les unes dans les autres, de sorte que l'on puisse exécuter des accords de dix notes. Il installe cette succession de cloches sur un axe que fait tourner l'instrumentiste, tandis qu'il pose les doigts mouillés sur les cloches qui se mettent en vibration par friction. Franklin décide de nommer cet instrument «armonica», en hommage à la musique italienne et à la musicalité de la langue italienne.

L'harmonica peut être réalisé différemment de celui de Franklin, et avec des matériaux variés : des instruments chinois nommés timbres sont aussi demi-sphériques, mais en laiton, et des bols tibétains fonctionnent sur le même mode de mise en vibration grâce à une batte en bois frottée sur le pourtour supérieur. Le président américain Thomas Jefferson, au XVIII^e siècle, fabriquait un «bellarmonie» selon le même principe que l'harmonica, mais avec des cloches en métal ; elles peuvent également être de porcelaine (le timbre serait différent).

Comment créer les diverses notes ? Dans le cas du violon, l'accordage s'effectue par une modification de la longueur ou de la tension de la corde. Dans l'harmonica, c'est le constructeur qui accorde, en changeant la taille des cloches ou leur rigidité. La fréquence propre augmentant avec la rigidité de la structure, on rend les sons émis plus aigus quand on épaissit les parois ou quand on réduit le diamètre ; inversement, on obtient des sons plus graves en amincissant les parois ou en augmentant le diamètre des cloches.

Les cloches de verre de l'harmonica sont mises en vibration par glisser-coller, comme les verres musicaux, mais, en raison du frottement sur le côté et non sur le bord supérieur, ou «buvant», la mise en vibration se fait plus lentement : dans le séraphin, l'attaque de la cloche de verre sur le buvant est plus efficace, car il est plus facile de déformer un bord libre. L'allegretto, que l'on obtient sans difficulté avec le séraphin, est inaccessible à l'harmonica (à qualité de verre équivalente, car certains verres «accrochent» mieux que d'autres).

En revanche, dans l'harmonica comme dans le séraphin, les sons sont durables : même après le retrait des doigts, les verres mis en vibration continuent de sonner, et des effets de vibrato sont possibles ; un crescendo résulte naturellement de l'excitation entretenue, et un vibrato de hauteur est obtenu quand on fait descendre et monter le doigt le long de la paroi (ce que l'on ne peut pas faire avec le séraphin).

Au total, le timbre vapoureux, angélique de l'harmonica charma Mozart, Beethoven, Pleyel, et bien d'autres compositeurs, poètes et artistes, qui composèrent pour lui. Goethe disait que l'harmonica lui parlait le «langage du cœur du monde», et Paganini s'exclamait : «Ah ! quelle voix ! Cela est vraiment fait pour prier...» Les pièces sont souvent écrites pour «Pianoforte ou Glassa-harmonica», d'où, d'ailleurs, une difficulté à retrouver le répertoire original. Nombreuses sont les œuvres qui restent à découvrir.

L'harmonica dans le tumulte électronique

Avant l'avènement des moyens électroniques d'amplification, l'harmonica était peu sonore : le gain en possibilités de jeu dû à l'emboîtement des cloches réduit la puissance de jeu, parce que les ondes sonores émises par une cloche sont absorbées et déviées par les cloches voisines. Par exemple, pour enregistrer, on doit mettre le microphone sur le côté des cloches ; en bout d'axe, il capte très mal...

Aussi, malgré un son plus «moelleux», «somp tueux»,

l'harmonica disparut progressivement. Il était concurrencé par le piano, auquel on avait adapté une pédale de *forte*, rendant l'instrument plus puissant et plus expressif. De surcroît, à la fin du XVIII^e siècle, les habitudes d'écoute musicale avaient changé : les orchestres jouaient dans des salles plus grandes, et, dans les orchestres, les instruments à vent couvraient le chant de l'harmonica. Certes, son timbre plaisait aux âmes préromantiques, mais il s'adaptait mal à l'évolution des mœurs et des goûts. Fragile, coûteux, de fabrication complexe et difficile à jouer, il était accusé d'être néfaste à la santé mentale (le médecin allemand Franz Anton Mesmer l'employa dans ses séances d'hypnose et a été responsable de cette mauvaise réputation.)

Alors que l'harmonica déclinait, d'autres instruments employant le verre apparurent. Par exemple, dans les années 1780, l'acousticien allemand Ernst Chladni (1756-1827) inventa d'abord le clavicylindre, où les tiges de métal sont frottées par un rouleau de verre. Puis il mit au point l'euphone, où l'exécutant frotte une tige de verre horizontale, qui pointe vers lui ; cette tige communique sa vibration à une tige de métal accordée. C'est donc le timbre du métal que fait entendre cet instrument. Comme pour les jeux de

verres musicaux, le doigt adhère et glisse ; ce mouvement anime la tige de verre d'une oscillation longitudinale et de bas en haut.

Chladni trouva le principe de cet instrument alors qu'il étudiait les fréquences émises par une tige métallique. Il avait initialement installé le système sur des tampons en liège et sur une caisse en bois, de sorte que les pertes d'énergie acoustique étaient considérables ; le son qui en sortait était très faible. Dans les années 1960, les frères François et Bernard Baschet ont élargi les possibilités d'expression de l'instrument en installant le système sur une plaque de duralumin et en y ajoutant des cônes d'amplification. Le spectre ainsi obtenu est celui d'une note «pure» avec un fondamental très développé et bien défini, les cônes donnant des effets de réverbération que l'on utilise pour régler la puissance de jeu et enrichir le timbre.

L'universalité des instruments de verre

Tous les pays qui ont fabriqué du verre ont façonné des instruments dans ce matériau : en Inde du Sud, on pratique le jalatharang depuis des siècles ; les Polonais, les Belges, les Turcs ont fabriqué des trompettes har-

moniques en verre... Dans tous les cas, les verres utilisés étaient à base d'oxyde de silicium et d'autres éléments qui abaissaient la température de fusion : des carbonates de calcium, de potassium, des oxydes d'aluminium, pour les verres les plus courants, du carbonate de potassium seulement dans le sonore.

Pour examiner la grande variété des instruments de verre, reprenons la classification générale des instruments de musique selon leur mode de production du son, le mode d'exécution et la facture. Dans la vaste classe des instruments à percussion, on distingue les idiophones (frappés, pincés, frottés) et les membranophones (percussions à peau), les cordophones, les aérophones et les instruments électroniques. La plupart peuvent être construits avec du verre, mais ce matériau n'est



6. LE SÉRAPHIN est le premier instrument où fut utilisé le principe du glisser-coller. Pour accorder les verres, on devait initialement les emplir partiellement d'eau, mais l'évaporation de cette dernière faussait le jeu. On préfère aujourd'hui préaccorder les verres en amincissant leurs parois à la meule.

pas toujours intéressant : une trompette en verre n'a pas de qualité musicale particulière ; un violon de verre stimule l'imagination, mais, en termes d'amplification des mouvements vibratoires des cordes et de leur transmission par un chevalet, le gain est nul...

À la famille des idiophones appartiennent la majorité des instruments de verre. Ils produisent des sons par

leur propres vibrations sans le concours d'une colonne d'air, d'une membrane ou d'une corde. L'harmonica, le séraphin, les cloches, le cristalophone et le glacechord se servent du verre comme corps vibrant et comme corps résonateur.

Parmi les cordophones, la trompette marine fait usage du verre : une corde unique est tendue sur un chevalet

Le verre frotté et le bruit du ruban adhésif

Pourquoi le verre frotté vibre-t-il ? À cause du phénomène de glisser-coller, ou *stick-slip*. Ce principe d'émission sonore agit dans des situations variées : quand on joue du violon, quand on fait glisser le doigt sur une surface mouillée, quand on tire de son dévidoir un morceau de ruban adhésif ou quand on rompt un solide. Examinons d'abord ce dernier cas.

Rompre un solide, c'est créer une fissure à partir d'un défaut préexistant, et provoquer la propagation de cette fissure. Cette propagation consomme de l'énergie, car il faut briser les liaisons interatomiques. L'énergie est apportée sous la forme d'une contrainte qui déforme d'abord le matériau dans les limites de son élasticité. Quand les liaisons chimiques qui assurent la cohésion du matériau sont rompues, la fissure apparaît tandis que l'énergie des liaisons est brusquement libérée. La vitesse de propagation de la fissure dépend de la différence entre le taux de restitution de l'énergie et l'énergie superficielle, c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour rompre les liaisons chimiques. Pour un matériau idéalement élastique, la fissure accélérerait jusqu'à atteindre la vitesse des ondes de Rayleigh (soit la vitesse du son). Toutefois, pour les matériaux réels, une partie de l'énergie

est perdue, notamment sous forme acoustique. De ce fait, la propagation de la fissure cesse momentanément, avant de reprendre quand la contrainte est redevenue suffisante.

On peut étudier le *stick-slip* à l'aide d'un dévidoir automatique de ruban adhésif, que l'on couple à un système qui mesure la force de tirage du ruban. Les expériences, bien interprétées par un modèle théorique, montrent que les oscillations sont sinusoïdales ou en dent de scie, selon l'inertie du système.

Dans le cas des verres frottés, le phénomène est du même type, mais compliqué par la présence du liquide. Quand le doigt est mouillé (l'eau entre par capillarité dans les interstices de la peau), l'eau facilite le glissement. Toutefois, le déplacement du doigt laisse de l'eau sur le verre, par le même phénomène que celui qui fait qu'un pinceau dépose de la peinture sur un mur (la vitesse d'un liquide est nulle au contact d'un solide). Après s'être déplacé sur une courte distance (glisser), le doigt est sec, de sorte qu'il ne glisse plus ; c'est la phase du coller. Puis l'eau environnant la zone sèche revient, par mouillage, humecter le doigt, et le glissement reprend.

Michel BARQUINS, E.S.P.C.I.

