

ont, de la même façon, été transformées en sifflets.

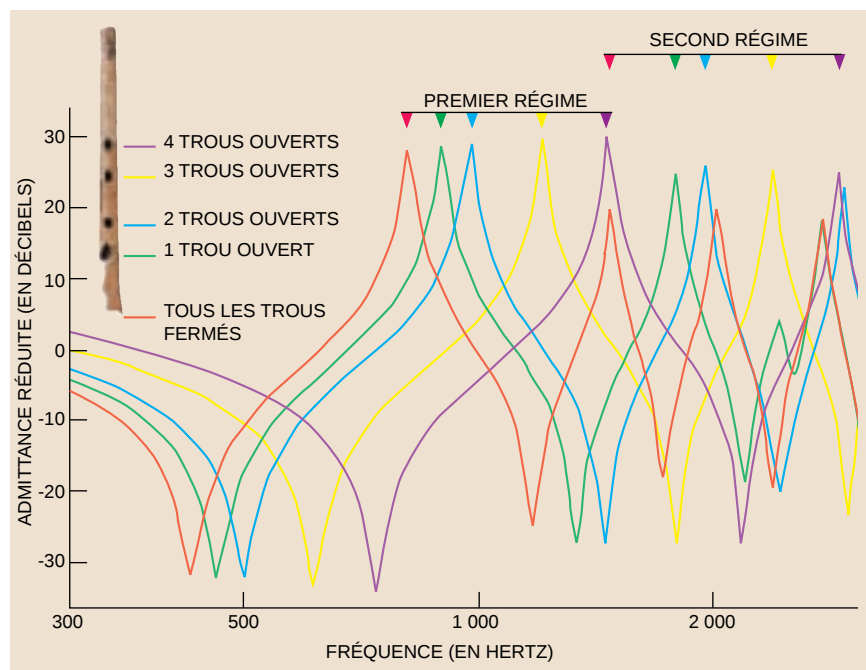
Cet «instrument à vent», pour primitif qu'il soit, présente un bon compromis entre les impératifs anatomiques et physiologiques de l'instrumentiste et un jeu potentiellement varié. La surface de l'épiphyse supérieure de la première phalange est en effet divisée par une dépression centrale dont le prolongement sur la face supérieure forme un canal qui facilite le positionnement correct des lèvres de l'instrumentiste et donne un confort de jeu en favorisant l'orientation du jet d'air vers l'arête du trou (l'air contenu dans la phalange est excité par l'insufflation d'un filet d'air qui oscille sur le bord du trou servant de biseau).

La plus basse fréquence de résonance d'un volume ouvert sur l'extérieur par un trou résulte de la compression périodique de l'air qui y est contenu : cette résonance ne faisant pas intervenir de propagation d'onde interne est connue sous le nom de résonance de Helmholtz. Des résonances associées à la propagation

d'ondes longitudinales dans la cavité allongée apparaissent à des fréquences plus élevées : ce sont les modes de résonance de l'embryon de tuyau que constitue la phalange. À fréquence encore plus élevée, une résonance transversale apparaît. La position des lèvres et la pression du souffle déterminent quelle résonance est excitée préférentiellement et permettent d'en moduler la fréquence : par exemple, celle-ci diminue lorsque l'on approche les lèvres du trou. On peut aussi souffler latéralement à la phalange, comme dans une flûte traversière, ou par le nez.

En soufflant dans des phalanges archéologiques ou dans des répliques, on produit des sons variés en hauteur, en intensité et en modes de jeu : sifflement continu, roulements, modulations... L'écart entre les sons obtenus avoisinent parfois l'octave.

L'analyse des sons fait apparaître deux composantes principales : la composante purement harmonique et le bruit de souffle, associé à la turbulence. Ce bruit à large bande est modulé par les diverses résonances



**2. CETTE FLÛTE EN OS** (à droite, vue sous trois côtés ; la longueur réelle est de 21 centimètres), découverte à Isturitz, dans les Pyrénées-Atlantiques, a été fabriquée par Cro-Magnon au Périgordien, environ 25 000 ans avant notre ère, dans un os de vautour. Quatre trous ovalaires ont été percés par raclage de l'os à l'outil de silex. Leurs bords sont polis par un long usage. L'instrument porte aussi un décor finement incisé. L'os n'a pas été utilisé sur toute sa longueur (en pointillés). Le calcul de l'admittance d'entrée (rapport entre le débit et la pression, qui montre les résonances et les antirésonances successives de l'instrument) pour les différents doigtés révèle que la longueur de la flûte a été ajustée pour que le premier régime tous trous ouverts (premier pic de la courbe violette) corresponde à la même note que le second régime tous trous fermés (second pic de la courbe rouge). Cette continuité mélodique, que l'on retrouve sur les instruments actuels, témoigne d'une tradition élaborée de facture des instruments de musique au Paléolithique.



L. Hamon/RMN, M. Dauvois

## Les rhombes

**A**u cours du Solutréen, environ 19 000 ans avant notre ère en Europe occidentale et un peu plus tôt en Europe centrale, apparaît un instrument à air, à son de sillage : le rhombe. Il est connu en Australie, en Afrique noire ou chez les Indiens d'Amérique du Sud, où il est un instrument sacré et secret exprimant la voix des esprits et des ancêtres.

Un rhombe est un objet allongé et à silhouette de feuille, mince et relativement léger, percé d'un trou. Au Paléolithique, il est en bois de renne ou en ivoire de mammouth. On passe un lien dans le trou, et on imprime à l'objet un double mouvement de rotation, sur lui-même et autour de l'expérimentateur. De cette double rotation naît le vrombissement caractéristique. Une épaisseur qui dépasserait environ le quart de la largeur empêcherait la rotation de l'objet autour de son axe longitudinal.

Le mouvement de giration autour de l'homme ne peut être uniforme, en raison du moment d'inertie des bras lors du geste : l'accélération est plus forte quand le rhombe est à gauche, puis derrière l'opérateur si celui-ci est droitier. Cela



se traduit, à chaque tour, par une montée en fréquence suivie d'une descente correspondant à la décélération. Les grands rhombes ont une voix plus grave que les petits ; si la vitesse de rotation augmente, la fréquence croît.

Une des pièces les plus significatives est le rhombe d'environ 10 000 ans avant notre ère, de la grotte de la Roche, à Lalinde, en Dordogne (voir la figure). Trop fragile pour être utilisée, la pièce originale a été reproduite en bois de renne par l'un d'entre nous (M. Dauvois), y compris la décoration géométrique gravée et l'ocrage. Expérimenté en plein air et en grotte, ce rhombe donne un son de sillage dont l'analyse en fréquence, en amplitude et en temps est proche de celle des sons produits par les instruments étudiés par les ethnologues.

La fréquence fondamentale du son évolue de 35 à 205 hertz lors d'un tour complet, tandis que le bruit de sillage est compris entre 1 600 et 25 000 hertz. En outre, chaque rotation du rhombe sur lui-même s'accompagne d'un bref claquement sur tout le spectre.

acoustiques de la phalange ; ainsi, à une fréquence légèrement inférieure à celle du premier mode longitudinal apparaît une antirésonance de la phalange sifflante : aucun son n'est émis à cette fréquence. En raison des dimensions des phalanges de renne, les sons fondamentaux émis se situent toujours entre 1 800 et 3 600 hertz, dans la bande de plus grande sensibilité de l'oreille (les secondes phalanges, environ un tiers plus courtes que les premières, émettent les sons les plus aigus).

Quelles sont les possibilités de cet instrument ? Les sons très élevés qu'il produit émergent violemment sur l'ensemble des sons naturels et humains. Ils peuvent constituer des signaux de communication lors de chasses en groupe. William Pruitt, de l'Université de Manitoba, a par ailleurs observé l'étrange réaction de hardes de rennes au signal sonore émis avec une phalange moderne ou avec une phalange indienne du début

du siècle, au bord d'un lac en forêt finlandaise. À la curiosité a succédé un comportement de confiance : les rennes se sont couchés sur la neige ou sur la glace à la suite de coups de sifflet prolongés et espacés les uns des autres de plusieurs minutes.

## Les flûtes en os

Après avoir utilisé les propriétés des phalanges sifflantes, les hommes préhistoriques ont fabriqué des flûtes. Les premières furent peut-être des tubes de roseau ou d'autres végétaux, mais seules les flûtes en os ont été conservées dans les sites archéologiques. L'os le plus rectiligne, le plus régulièrement creux, de section quasi circulaire, est le cubitus des grands rapaces diurnes adultes, du vautour en particulier. En Europe occidentale, Cro-Magnon a donc le plus souvent choisi cet os pour ses flûtes, le sectionnant et y perçant des trous, et ce dès le début du Paléolithique supérieur (il y a environ 35 000 ans).

Le gisement de la grotte d'Isturitz, dans les Pyrénées-Atlantiques, a fourni la plus grande concentration connue de flûtes, dans une succession de couches stratigraphiques s'étendant de l'Aurignacien ancien au Magdalénien, soit environ de 35 000 à 10 000 ans avant notre ère. Les seules couches du Périgordien (de 27 000 à 20 000 ans avant notre ère) en ont livré plus des deux tiers. Avec des pièces de ce gisement, conservées au Musée des Antiquités nationales, Dominique Buisson a remonté une flûte droite presque complète.

Nous nous sommes intéressés à la facture de cet instrument. D'abord, l'élargissement tronconique de l'extrémité proche de l'articulation avec l'humérus forme une sorte de pavillon qui participe au rayonnement acoustique du son à la sortie de l'instrument ; l'embouchure se situe de l'autre côté, dans la partie la plus circulaire de l'os. Par ailleurs, le cubitus n'a pas été utilisé sur toute sa longueur. Quels critères ont guidé le choix de la position de l'embouchure et de celles des trous ? L'instrument original étant trop fragile pour être joué, nous avons procédé à une simulation numérique, en calculant la propagation du son, les pertes acoustiques internes, le rayonnement à partir des trous et de l'embouchure, et la couverture de cette dernière par les lèvres de l'instrumentiste, estimée expérimentalement avec un instrument de dimensions voisines.

Lorsque l'on souffle dans une flûte, la fréquence de la note produite est la fréquence fondamentale de résonance de la colonne d'air contenue dans le tube, ouvert aux deux extrémités. En soufflant plus fort, ou en embouchant différemment l'instrument, on peut émettre une note à une fréquence voisine du double de la fréquence fondamentale : on joue l'instrument sur son second régime, environ une octave au-dessus du premier. Dans le cas présent, un troisième régime ne peut être atteint qu'occasionnellement. Quand on perce un trou dont le diamètre est du même ordre que la section du tube, tout se passe comme si l'on coupait la flûte à l'endroit du trou. Ainsi, en débouchant successivement les trous, on obtient des notes de plus en plus aiguës (correspondant aux fréquences de résonance d'un tube de plus en plus court).