

# TOUT L'UNIVERS

1996-1997

LE LIVRE DE PARIS - HACHETTE

# les télécommunications

Entre l'instant où l'on décroche le combiné de son téléphone et le « allô » de l'interlocuteur, il se produit bien des choses sur les milliers de kilomètres du réseau national de France Télécom. Mais que se passe-t-il exactement?

#### TÉLÉPHONER AUJOURD'HUI

En décrochant le combiné téléphonique familial, pour souhaiter bonne fête à sa mamie, le petit Nicolas, neuf ans, est loin d'imaginer la cascade d'événements qu'il va précipiter. Quelques centaines de kilomètres séparent son appartement, dans la banlieue sud de Paris, du chalet savoyard de grand-mère. Quinze petites secondes vont suffire pour orienter l'appel dans la gigantesque toile d'araignée qui relie les millions d'abonnés français entre eux.

#### Du combiné au central

Mais revenons à Nicolas : en portant le combiné à son oreille, il libère un petit crochet situé sur le socle de l'appareil. Ce crochet est en fait un interrupteur monté sur ressort. Libéré du poids du combiné, il connecte les deux fils de la ligne. Ces derniers partent du poste pour aller s'enficher dans une prise au bas du mur voisin. Moins apparente, la ligne file ensuite vers le central téléphonique le plus proche du domicile de Nicolas, à Palaiseau, dans l'Essonne.

Lorsque le combiné est décroché, la ligne est donc activée. Un courant électrique de 48 volts circule alors sur la ligne, signalant une demande d'appel au commutateur du central de Palaiseau, une machine qui aiguille les conversations dans la bonne direction – dans notre cas, vers la Savoie. À l'origine, le commutateur était manuel. Une opératrice répondait en permanence aux demandes d'appels et connectait les lignes. Aujourd'hui, tout cela se fait automatiquement.

#### L'appel

Enregistrant la demande d'appel, le commutateur envoie un signal sonore dans le combiné de Nicolas. En entendant ce son, appelé tonalité, l'enfant commence à composer le numéro à huit chiffres de sa mamie, précédé du 16, indicatif de la province. À chaque pression sur le clavier, le poste expédie une

note de musique sur la ligne. Le commutateur, qui connaît bien son solfège, traduit aussitôt la douce mélodie en numéro de téléphone de mamie.

#### L'aiguillage

Un gros ordinateur analyse alors les quatre premiers chiffres pour savoir quel cap prendre dans la multitude de lignes couvrant l'ensemble du territoire. Les deux premiers numéros correspondent à la zone téléphonique, la Savoie. Les deux suivants identifient précisément le commutateur local de la grandmère, à Sainte-Hélène-sur-Isère. Une fois le point d'arrivée trouvé, l'ordinateur cherche le chemin le plus court. La demande d'appel de Nicolas est ensuite envoyée sur le réseau, à une allure de 200 000 kilomètres par seconde. Lorsque le commutateur de Sainte-

il cherche dans son répertoire la ligne dont les quatre derniers chiffres correspondent à la demande de Nicolas... et tombe sur mamie, chez qui il envoie un courant de 80 volts qui déclenche une sonnerie stridente. Le temps d'atteindre son poste, mamie décroche et libère ainsi le crochet de son combiné. Immédiatement, ce geste provoque la remontée d'une impulsion électrique tout au long de la ligne, jusqu'au central de Palaiseau, toujours à 200 000 kilomètres par seconde.

#### La connexion

Cette impulsion, qui va ensuite se répéter régulièrement, est utilisée pour facturer l'appel aux parents de Nicolas. Mais nous n'en sommes pas encore là! À cet instant précis, nos deux personnages sont enfin connectés. Quelques



Répartiteur d'un central téléphonique : c'est ici qu'arrivent les fils du téléphone.

secondes à peine se sont écoulées, et le dialogue peut s'engager.

Un dialogue électrique

En panne d'originalité, mamie lance un « allô » interrogateur dans le combiné. À l'intérieur de ce dernier se trouve un microphone plein de petites billes de charbon. Excitées par la vague sonore déferlant dans le poste, les billes se mettent à vibrer. Ces ballottements du charbon vont créer une onde électrique de forme aussi élégante que l'onde acoustique sortant du larynx de mamie. Les professionnels parlent de signal électrique analogique parce que sa forme est analogue à celle de l'onde sonore.

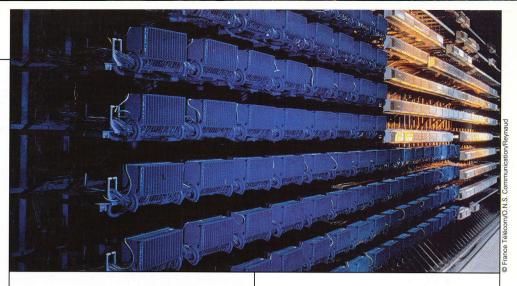
Il y a encore quelques années. France Télécom transmettait les conversations sous cette forme analogique. Mais pour gagner du temps, et surtout pour traiter plus d'appels simultanément, l'opérateur utilise désormais un autre système : le numérique. Cela consiste à traduire le signal analogique dans le langage binaire de l'ordinateur, uniquement composé de 0 et de 1.

#### LES DÉBUTS DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Avant d'être acheminées sous forme d'électricité dans un fil, les communications à distance ont d'abord été visuelles. Oubliant les signaux de fumée utilisés par les Indiens d'Amérique, l'histoire a retenu la télégraphie aérienne de Claude Chappe.

Vers 1790, celui-ci met au point un système de signaux matérialisés par différentes positions de bras articulés placés sur des tours. Un observateur regardait à la jumelle la position d'un bras articulé et plaçait un bras à l'identique. Sur une autre tour, à quelques kilomètres de là, une autre sentinelle répétait l'opération. La technique était plus rapide et plus sûre que le coursier à cheval, mais un message parti de Paris mettait quand même quelques heures pour parvenir à la frontière belge.

Au milieu du XIXe siècle arrive le télégraphe utilisant le célèbre code télégraphique de Samuel Morse. Avec des bips plus ou moins longs, il devient possible d'envoyer des textes sur des lignes électriques. En 1876, l'Américain Alexander Graham Bell invente le téléphone. Mieux que des textes et, surtout, plus rapidement, c'est alors la voix humaine qui commence à circuler sur des fils.



#### Découpage en tranches fines

Pour transformer un «allô» analogique en «allô» numérique, il faut «l'échantillonner». Le signal électrique ressemblant à une longue vague, l'opération consiste à la découper en tranches très fines, comme le jambon chez le boucher. La découpe s'effectue à un rythme très soutenu: 8 000 fois par seconde. La hauteur de chaque tranche est ensuite mesurée précisément. À chaque taille est affecté un code de 8 chiffres composé de 0 et de 1. Exemple : tranche  $n^{\circ} 1 = 01100011$ , tranche  $n^{\circ} 2 = 01100001$ ,

À plusieurs sur la même ligne

Une fois convertie en tranches de 0 et de 1, la voix de grand-mère ressemble à un long train, circulant à grande vitesse sur la ligne, à raison de 8000 wagons de 8 chiffres par seconde, soit un wagon toutes les 125 microsecondes (us). Or, le temps de passage d'un wagon n'est que de 4 µs, quatre minuscules millionièmes de seconde. Autant dire qu'il y a de la

Des relais, situés sur les sommets, desservent les zones montagneuses. place entre les voitures. En fait, cet espace est utilisé pour permettre la circulation de plusieurs trains sur la même ligne, soit plusieurs conversations téléphoniques simultanées sur une même ligne; on parle alors de multiplexage.

#### Le son reconstitué

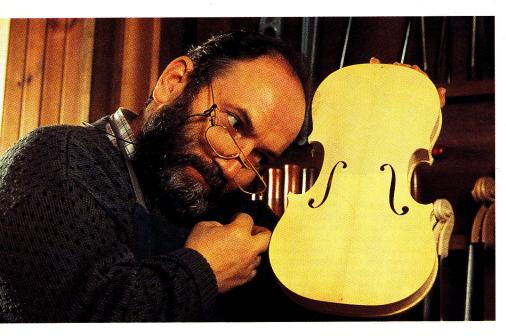
Pour conclure, reprenons le cours de notre histoire. Arrivé sous forme de wagons de 0 et de 1 au commutateur de Palaiseau, le signal numérique correspondant au «allô» de mamie va reprendre une forme analogique. Encore une fois, c'est un ordinateur qui va se charger de reconstituer le puzzle. Chacun des wagons indiquant la hauteur de «l'échantillon» à un moment donné, le calculateur va retrouver la forme de départ, comme si notre boucher, après avoir débité son jambon en tranches, s'amusait à recoller les morceaux.

Enfin, le signal électrique, retransformé en signal analogique, arrive dans l'écouteur de Nicolas, lui aussi bourré de petites billes de charbon. Sous l'effet du courant, les billes se mettent à vibrer, créant un son vivant et chargé d'émotion.



### SON ET ACOUSTIQUE

D'un côté, il y a des ondulations mécaniques qui se propagent dans les milieux élastiques, comme l'air, et font vibrer le tympan. De l'autre se trouve un organe d'audition qui perçoit et analyse à sa manière ces vibrations; certaines d'entre elles font réagir notre cerveau : on les appelle « sons ». Il en existe une infinité : graves, aigus, doux, puissants, riches, fluets, secs, nasaux, gutturaux... On les distingue selon leurs fréquences, leurs timbres et leurs intensités.



#### Un luthier de Crémone. Les bois utilisés, érable et épicéa, difficiles

à travailler, rendent la fabrication du violon délicate ; par ailleurs, les qualités mécaniques des bois varient d'une pièce à une autre. Aussi s'interroge-t-on sur les secrets de fabrication des stradivarius.

#### LES ONDES SONORES

Si l'absence de matière est un obstacle à la propagation du son, certains matériaux le conduisent très mal. C'est le cas du coton, de la laine ou encore du plomb. D'une manière générale, les corps mous ou poreux ont tendance à être absorbants. On les utilise d'ailleurs pour se protéger du bruit. Ainsi, la paroi de laine de verre sert d'isolant à la fois thermique et phonique. Et lorsque cette dernière n'est pas suffisante, l'insomniaque a recours aux billes de cire, autre matière molle, pour plonger dans les bras de Morphée. À l'inverse, les matières élastiques propagent facilement les sons. L'air, mais aussi l'eau ou l'acier sont de bons corps conducteurs. Leur aptitude à se déformer sous un choc, puis à revenir dans leur position initiale, explique leur capacité à bien transmettre les sons. C'est l'histoire du Chêne et du Roseau. Sous l'effet d'une force (le vent), l'arbre imposant résiste alors que la frêle tige plie immédiatement. Mais lorsque la force s'accentue, le premier finit par rompre alors que le second continue de plier, sans casser.

Comme le vent dans la fable de La Fontaine, le son est au départ une énergie composée de mouvements et de pressions. Quand un guitariste frappe une corde de son instrument, celle-ci se met à vibrer. Cela agite les molécules d'air situées à proximité. Or ces dernières constituent un milieu élastique, comparable à un tapis de billes reliées les unes aux autres par des ressorts. Ainsi, lorsque certaines d'entre elles vibrent, l'ensemble réagit très vite; peu à peu, l'agitation se propage. On parle d'onde mécanique et plus précisément d'onde sonore lorsque l'oreille peut la capter. Quand la vibration parvient au tympan, ce dernier se met à onduler comme la peau d'un tambour. La vibration est transmise jusqu'à l'oreille interne, dans laquelle se trouve le nerf auditif. Ce dernier transmet l'information au cerveau. Une sensation sonore est alors ressentie.

Cette chaîne de transmission n'est pas immédiate. Le parcours du son demande un certain temps, qui ne dépend ni de l'intensité ni de la nature de la vibration de départ mais uniquement du milieu de propagation. Plus celui-ci est lourd et dense, plus la vitesse sera élevée. Dans l'acier, le son se propage à la vitesse de 5 000 m/s. Dans l'eau, cette vitesse, encore appelée célérité, est d'environ 1 000 m/s. En se déplaçant, l'onde sonore s'atténue. Comme dans tout échange mécanique, une partie de l'énergie de départ est perdue à chaque transmission sous forme de chaleur.

Bien moins vite que la lumière!

Dans l'air, beaucoup moins dense, la célérité du son est d'enviror 340 m/s, ce qui explique les phénomènes d'écho en montagne Poussez un cri! Il va se propager, atteindre la paroi située en face à quelques centaines de mètres, rebondir et revenir jusqu'à vo oreilles. Le temps de cet aller-retour indique la distance parcourue il l'écho dure 1 s, la montagne en face est à 170 m de vous. Li lumière se propage beaucoup plus rapidement, à la vitesse de 300 000 km/s, et le décalage entre l'éclair et le tonnerre illustre bien le phénomène. Ainsi, pour apprécier la proximité d'un orage il suffit de compter les secondes, dès qu'un éclair zèbre le ciel, et attendant le grondement sourd. En multipliant le temps d'attent par 340 vous pouvez vous faire une idée assez précise de la distance qui vous sépare de l'orage et donc du temps restant pou vous mettre à l'abri.

#### Les sons purs ou sinusoïdaux

Bruit du tonnerre, cri du bébé ou glissando de violon, l'oreill humaine peut entendre et distinguer une multitude de sons Physiquement, le plus simple est celui du diapason. Frappée contrune table, l'une de ses branches se met à osciller, excitant le molécules d'air environnantes qui transmettent alors une not unique : le la de la gamme tempérée. Ce son sert de référence C'est grâce à lui que les musiciens accordent leurs instruments et peuvent jouer ensemble de manière consonante.

Une fois mis en mouvement, le diapason réagit comme l pendule d'une horloge. Il oscille de droite à gauche autour de s position de repos de manière sinusoïdale. L'onde sonore créée pases déplacements est de même nature. Sa principale caractéristiquest le temps d'un cycle complet : il s'agit de la période de l'onde égale à 2,27 ms dans le cas du diapason. L'inverse de la périod d'une vibration sinusoïdale est sa fréquence : c'est le nombre d vibrations par seconde, exprimé en hertz (Hz). Quelles que soier la manière dont le diapason est excité et l'amplitude de so mouvement, la fréquence de vibration est toujours la même. Ell crée la sensation de hauteur de la note ; l'oreille traduit la fréquence (440 Hz) par un la.

La plupart des instruments peuvent jouer le la. Pourtant, tout oreille un tant soit peu musicale distingue cette note jouée par u violon, un piano ou un trombone à coulisse. Ce qui différencie le trois sensations d'écoute constitue la deuxième caractéristiqu d'un son après sa fréquence : son timbre. Si le diapason émet un onde purement sinusoïdale, les instruments de musique créent de sons périodiques : leurs oscillations se répètent comme le balance ment du pendule, mais leurs mouvements sont plus complexe

#### Fondamentale et harmoniques

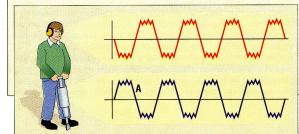
Le mathématicien Joseph Fourier a démontré, au XIXº s., que « le ondes périodiques de fréquence F se décomposent en une somm infinie d'ondes sinusoïdales de fréquences respectives F, 2F, 3I 4F... ». Du théorème de Fourier, on peut déduire que chaque so est composé d'une onde sinusoïdale de fréquence F, appelée l fondamentale, et d'un ensemble d'ondes sinusoïdales de frequences multiples (2F, 3F, 4F...), qui constituent ses harmonique

#### UN BRUIT PEUT EN CACHER UN AUTRE

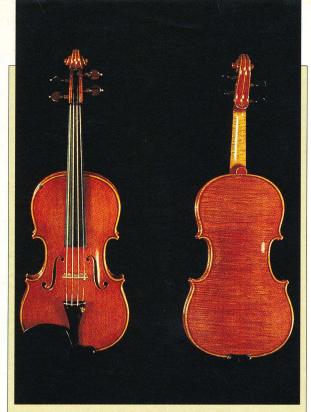
Pour combattre le bruit, il existe deux méthodes. La première, conventionnelle, est l'isolation phonique; l'individu soumis à cette nuisance peut choisir entre les boules de cire et le casque aux oreillettes emplies de matériaux absorbants. La seconde, plus récente, consiste en un contrôle actif du bruit : deux sons en opposition de phase s'annulent.

Soit un son gênant de fréquence 1 000 Hz. L'intensité de cette vibration sinusoïdale passe par un haut et un bas mille fois par seconde. Soit un microphone, placé dans un casque. Le capteur détecte la fréquence indésirable. Un petit système électronique l'analyse puis crée un son identique, mais légèrement décalé de telle sorte que son maximum corresponde au minimum du son gênant. Dans notre exemple, le système produira un son de 1 000 Hz, décalé de 0,5 ms par rapport au bruit. Superposés, les deux sons se neutralisent.

Grâce aux progrès de la miniaturisation électronique, cette technique est déjà utilisée sur les chantiers et proposée par certaines compagnies aériennes; le contrôle actif du son est à l'étude chez la plupart des constructeurs automobiles, qui prévoient d'installer un système diffusant un contre-bruit du moteur dans l'habitacle par le relais de l'autoradio. Dans le bâtiment, on pense également se servir de cette technologie active en placant dans les vitres des capteurs reliées à la chaîne hift.



# SOMMAIRE LES ONDES SONORES UNE OREILLE SÉLECTIVE LES GÉNÉRATEURS DE SONS LA MAÎTRISE DES SONS ET DES BRUITS



#### STRADIVARIUS, SAVART ET FIBRE DE CARBONE

La forme du violon ne doit rien au hasard, même si les luthiers qui l'ont dessinée ne maîtrisaient pas les lois de l'acoustique. Aujourd'hui encore, on ne dispose pas d'une théorie d'ensemble sur la résonance du violon, tant ce dernier est d'une facture complexe. Antonin Stradivarius et les luthiers de l'école italienne de Crémone ont façonné au xvIIII s. les spécimens au son le plus parfait. Le secret de fabrication a été conservé, et Stradivarius, souvent imité, n'a jamais été égalé.

L'étude physique de l'instrument débute au xixe s. Un médecin strasbourgeois, Félix Savart, entreprend d'étudier la propagation des ondes mécaniques dans les plaques de bois. Il construit avec un célèbre luthier ce qu'il pensait être le violon parfait, un instrument aux lignes angulaires en forme de trapèze, mais qui ne connaît pas le succès escompté. Les musiciens l'ignorent, allant jusqu'à le surnommer le « cercueil de Savart ».

Des chercheurs du Laboratoire d'acoustique musicale de Paris ont mis au point un violon utilisant des matériaux composites, et notamment des fibres de carbone. Le violon haute technologie n'égale certes pas les œuvres de Stradivarius mais permet la fabrication en série d'instruments d'une facture de grande qualité. Autre avantage du violon composite : il est beaucoup moins sensible aux écarts de température ou d'hygrométrie que ses « collègues » en bois. Un atout important pour les concertistes, habitués à sentir leur instrument chauffer sous la lumière des projecteurs.

La fondamentale donne la sensation de hauteur de la note et permet de distinguer le *do* du *ré* ou du *mi*. Les harmoniques créent le timbre de l'instrument. Selon leur nombre et leur intensité respective, l'oreille reconnaîtra une harpe, un violoncelle ou une flûte traversière.

Toutes les ondes sonores ne sont cependant pas composées d'une fréquence fondamentale et d'harmoniques. Certaines sont apériodiques. Leur hauteur exacte ne peut être appréciée par l'oreille. C'est le cas des bruits irréguliers comme les percussions ou chocs rapides. D'autres sont formées d'éléments multiples ; ainsi l'ambiance sonore de la ville est-elle constituée d'une addition de sons très divers (bruits de moteurs, coups de klaxon, conversations des piétons, etc.).

#### L'amplitude des sons

Après la fréquence et le timbre, l'intensité est la troisième caractéristique d'un son. Physiquement, il s'agit de l'amplitude des mouvements moléculaires transmettant l'onde sonore. L'oreille traduit cette dimension par une sensation de force (fortissimo, moderato ou pianissimo). L'intensité d'un son n'est pas stable et évolue dans le temps en trois phases. La première est brève et puissante. L'acousticien parle de régime transitoire, le musicien de l'attaque de la note. Selon sa durée et sa forme, le son sera plus ou moins droit. La composition en harmonique de cette période donne sa couleur à la note. Après l'attaque, qui peut durer de 10 à 100 ms, suit un régime stable en niveau et en timbre de plusieurs secondes. Dans une dernière phase, la note s'éteint plus ou moins rapidement; par exemple, lorsque le pianiste l'étouffe avec la pédale douce ou quand il laisse résonner les cordes.

L'énergie d'un son est le rapport entre sa puissance, qui se mesure en watts, et la surface sur laquelle elle s'applique. L'énergie se mesure donc en watts par centimètre carré (W/cm²). L'oreille humaine ne perçoit pas tous les sons. Certains sont trop faibles pour exciter le tympan. D'autres, trop forts, causent une douleur, voire d'irrémédiables dommages à l'organe auditif. Le champ d'écoute de l'oreille humaine se situe entre ces deux limites ; il correspond à des énergies variant de  $10^{-16}$  W/cm² à  $10^{-4}$  W/cm², ce qui, concrètement, révèle un rapport de 1000 milliards entre le premier souffle audible et la limite de tolérance!

#### **UNE OREILLE SÉLECTIVE**

Si la mesure physique des intensités sonores s'exprime en watts par centimètre carré, il a fallu inventer une autre unité pour s'approcher de l'interprétation faite par l'oreille et le cerveau. En effet, ces organes ne perçoivent pas les différences de puissance de la même manière selon les niveaux. Entre un léger murmure et un chuchotement deux fois plus intense, l'oreille ressent une différence plus grande qu'entre un cri et un hurlement physiquement deux fois plus fort : la sensation n'est pas proportionnelle à l'intensité de l'excitation mais dépend de son logarithme; c'est pourquoi l'échelle des intensités sonores s'exprime généralement par une unité logarithmique, le décibel (dB).

Le décibel ne traduit pas un niveau, il exprime une différence entre deux puissances selon la loi : intensité en décibels = 10 log<sub>10</sub> (puissance A/puissance B). Ainsi, 10 dB séparent des sons de 10<sup>-14</sup> W/cm² et 10<sup>-13</sup> W/cm². De la même manière, il y a 10 dB d'écart entre 10<sup>-5</sup> W/cm² et 10<sup>-4</sup> W/cm². Pourtant, ces deux exemples sont largement différents puisqu'ils reviennent à comparer la distance entre 1 cm et 1 mm avec celle qui existe entre 10 000 km et 1000 km! Mais dans les deux cas notre oreille éprouve une sensation d'écart du même ordre.

Comme la mesure des températures, celle des intensités sonores nécessite un zéro de référence. Les acousticiens l'ont fixé au seuil d'audibilité de l'oreille humaine moyenne, soit  $10^{-16}$  W/cm²; l'échelle débute donc à 0 dB et monte jusqu'à 130 dB ( $10^{-4}$  W/cm²), niveau qui caractérise le seuil de douleur de l'audition. Entre ces deux extrêmes se trouvent les différentes perceptions d'intensité sonore : 25 dB pour une conversation à voix basse, 60 dB dans un grand magasin, 80 dB dans une voiture ou 110 dB dans une discothèque.

« Turandot » de Puccini (mise en scène de L. Pichon). Le son émis par les cordes vocales, déformé lors de son passage dans le pharynx et la bouche, est très diffé de celui qui parvient à nos oreilles.



#### Champ d'audition humain

L'oreille n'entend pas tous les sons. Les amplitudes sont limitées par les seuils de perception et de douleur, et les fréquences doivent être comprises entre 16 et 20 000 Hz. Au-dessous de 16 Hz est le domaine des infrasons, que le corps peut ressentir mais que l'oreille n'identifie pas. Au-dessus de 20 000 Hz, les ondes sont ultrasonores. Seuls quelques animaux comme le chien ou la baleine peuvent percevoir des fréquences montant jusqu'à 40 000 Hz.

Le niveau du seuil de perception varie énormément selon la fréquence. L'oreille humaine est plus sensible aux sons qui composent la voix, soit un champ de fréquences variant de 100 à 5 000 Hz, qu'aux basses et aux aiguës. La sensibilité varie aussi selon l'âge et l'individu. En général, les femmes ont une ouïe plus fine que les hommes. Les nomades du désert, vivant dans un milieu silencieux, sont également bien plus sensibles que les citadins. Pour un même individu, l'oreille atteint ses meilleures performances au début de l'âge adulte pour décliner lors du vieillissement; les fréquences aiguës sont les premières victimes du temps.

#### Les ondes de relaxation

L'archet du violon fait vibrer la corde de manière bien spécifique; le guitariste produit des ondes transversales, et le violoniste des ondes de torsion. Sous la pression de l'archet, la corde se tord, puis se libère, puis se tord à nouveau, etc. Ces oscillations, dites de relaxation, ne sont pas de forme sinusoïdale et donnent à l'instrument un nombre élevé d'harmoniques, ce qui est synonyme de richesse de timbre. On retrouve cette analogie dans la famille des instruments à vent. Sous l'action du courant d'air provoqué par le joueur, l'anche du saxophone ou de la clarinette vibre. La présence d'une force constante (l'air) ainsi que les tourbillons créés par les battements de l'anche produisent une oscillation de relaxation comparable à celle du violon.

Les membranes vibrantes, faites de peaux tendues ou de matériaux synthétiques, fonctionnent comme un tapis de cordes croisées. La résonance des sons de percussion est très courte. L'onde n'est plus décomposable en une fondamentale et ses harmoniques mais en plusieurs fréquences voisines, des partiels. Les notes et les timbres dépendent de nombreux facteurs comme la nature de la peau ou de la plaque en vibration, de sa tension, de sa taille ou de sa masse. La cloche de l'église est le plus lourd des instruments de musique. Sa forme est invariable, le rapport entre sa hauteur et son diamètre devant être de 4/5. La note et le timbre d'une cloche dépendent largement de sa masse. Plus cette dernière est élevée, plus la note est basse. Les cloches les plus lourdes (Notre-Dame de Paris, cathédrales de Sens et de Rouen) pèsent 17 t. Elles jouent un si grave.

#### Un exemple complexe : la voix

La voix se décompose en deux familles de sons aussi distinctes en acoustique qu'en phonologie : les consonnes et les voyelles. Chanté ou parlé, chaque son sortant de la bouche comprend deux périodes transitoires (établissement et extinction du son) et une période intermédiaire de stabilité. Les périodes transitoires sont faites de consonnes, et les moments de stabilité de voyelles. Ces dernières sont produites par la vibration des cordes vocales, situées dans le larynx.

Le timbre de la voix est donné par l'ensemble des cavités sonores que constituent le nez, la bouche et la gorge. L'extrême diversité des morphologies explique les différences de timbre entre les individus : les femmes, en moyenne plus petites que les hommes, ont une voix plus aigué parce que leurs cavités vocales sont moins volumineuses. Certaines consonnes ([g], [r]) sont également produites par les cordes vocales, mais la plupart d'entre elles ([c], [d], [f], [k]...) sont des bruits de bouche, créés par les lèvres, la langue, les dents et le palais. Les voyelles se situent dans un champ de fréquences allant de 100 à 5 000 Hz alors que les consonnes sont souvent plus hautes.

#### LA MAÎTRISE DES SONS ET DES BRUITS

Si les luthiers et les musiciens ont pour vocation de flatter les tympans en fabriquant ou en jouant des instruments aux consonances agréables, l'acousticien consacre son temps à se battre contre les sons indésirables. Le bruit est devenu l'une des principales pollutions du monde moderne. Le quart des maladies professionnelles est lié à l'excès de décibels sur le lieu de travail. De l'isolation phonique des appartements à celle de l'intérieur d'une voiture en passant par l'aménagement des bordures d'autoroutes, la protection contre le bruit demande d'abord des outils pour mesurer et analyser les sources de nuisance.

#### Mesure et analyse

Pour déterminer le niveau sonore d'un bruit, l'acousticien utilise un sonomètre. Le microphone de l'appareil recueille en un endroit donné les variations de pression acoustique de l'air et les compare à un niveau de référence correspondant au seuil de l'audition humaine. Le résultat s'affiche en décibels. Pour tenir compte de la sensibilité plus marquée de l'oreille à certaines fréquences qu'à d'autres, plusieurs types de filtres (A, B, C ou D), dits de pondération, sont utilisés pour corriger la mesure. On parle alors de dB(A), dB(B)...

Instrument plus sophistiqué, l'analyseur de spectre ne se limite pas à une mesure globale du bruit, mais le décompose en plusieurs bandes de fréquence. Dans l'industrie du bâtiment, il permet de noter les fréquences les plus gênantes de l'environnement extérieur, puis de choisir le matériau absorbant le mieux adapté. Pour optimiser la sonorisation d'un concert, l'ingénieur du son utilise également un analyseur de spectre. À chaque instant, il peut lire les niveaux sonores, des extrêmes basses aux notes les plus aiguës. Grâce à ces données, il corrige les éventuels défauts acoustiques de la salle en augmentant ou en diminuant le volume de telle ou telle fréquence.

Dans cette audiosphère, des chercheurs reproduisent les bruits d'ambiance perçus en ville et analysent leurs impacts.

#### La matière molle pour isoler

Une fois le bruit analysé, il existe deux méthodes, différentes mais complémentaires, qui utilisent les mêmes techniques pour le combattre : l'atténuer à la source ou le filtrer lorsqu'il est gênant. Le son se propageant d'autant mieux que le milieu est élastique, l'isolation fait appel à des matériaux facilement déformables ; c'est le cas du coton, de la laine de verre, du liège, du feutre ou du plomb. Au lieu de vibrer comme un élastique ou une barre d'acier, les isolants encaissent les variations de pression en se déformant ; ils affaiblissent le son d'autant plus efficacement qu'ils sont disposés en couche épaisse.

Pour réduire le bruit d'une machine, des tapis de feutre, placés aux endroits clés où les bruits se transmettent, peuvent être particulièrement efficaces. Dans un appartement, un tapis sous le piano atténuera largement la résonance sur le parquet et la gêne ressentie par les voisins. Ce type de protection par panneau absorbant ne fonctionne pas pour toutes les fréquences. Les bruits graves, les plus gênants, ont une fâcheuse tendance à traverser les parois poreuses sans s'affaiblir de manière significative. Pour les filtrer, on fait souvent appel à des pièges à sons : c'est le principe du sas ou de la double-fenêtre. En multipliant les cavités d'air fermées entre le bruit et les oreilles, on atténue d'autant sa propagation.

#### Contrôler l'acoustique des salles

L'acoustique architecturale ne se réduit pas systématiquement à la chasse aux nuisances. Elle intervient aussi dans la conception des salles de spectacle, des amphithéâtres ou des salles de séjour afin de leur donner de bonnes caractéristiques sonores. Comme tout volume d'air clos, les pièces ont une fréquence de résonance. La première tâche de l'acousticien consiste à en calculer les dimensions pour que leurs fréquences propres soient situées en dehors du champ de l'audition humaine, en général dans le domaine des infrasons. Les trains et les métros, qui produisent des fréquences de ce type, font souvent trembler les maisons du voisinage lorsqu'une isolation spécifique n'a pas été prévue.

La deuxième tâche de l'architecte acousticien consiste à contrôler le temps de réverbération de la salle qu'il doit traiter. À l'extérieur, les sons se dispersent dans l'air. Entre quatre murs, ils se réfléchissent d'autant mieux que les parois sont lisses et d'autant plus longtemps que la pièce est grande. La réverbération du son dans les églises illustre bien ce phénomène. Dans une salle de concert ou de congrès, les diverses réflexions des sons sur les murs doivent être amorties, pour conserver la bonne intelligibilité des paroles ou de la musique. Une fois calculés le temps et le taux de réverbération souhaités, l'acousticien place différents matériaux absorbants à des endroit précis des parois et du plafond.

Comme le luthier qui fabrique un violon, le sonorisateur qui égalise les fréquences pendant un concert ou l'ingénieur du son qui prend soin d'enregistrer les musiciens au volume optimal, l'acousticien en revient au même problème : éliminer les bruits indésirables ou dompter certaines de leurs composantes ; pour ce faire, il compose avec les lois de la mécanique des ondes et avec les particularités physiologiques de l'oreille humaine.



L'acoustique, qui concerne l'étude des phénomènes relatifs à l'o constitue aussi une partie de la physique qui traite des propriét des sons et des techniques nécessai à leur pratique.

#### **VOIR ÉGALEMENT**

- → DOSS chant
- → DOSS musique → DOSS nuisances
- → DOSS ondes
- → DOSS oreille et ouïe
- → DOSS oscillations
  → DOSS phonétique
- et phonologie

  Doss son (reproduction du)