

# Le journal de l'expo...

Galerie Eurêka - Centre de Culture Scientifique et Technique de la Ville de Chambéry

## ELECTROSOUND, LES COULISSES DU SON

Une exposition co-produite par Science animation, CCSTI d'Occitanie, et Octopus, fédération des musiques actuelles en Occitanie

Du 26 septembre 2020 au 6 mars 2021

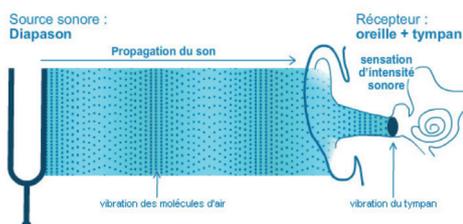


L'exposition *Electrosound, les coulisses du son* invite à explorer l'univers son d'une salle de spectacle au fil d'un parcours à la découverte de l'onde sonore et ses propriétés physiques, des techniques de transformation du son, de l'oreille et des risques auditifs, ainsi que de la musique et ses courants.

### QU'EST-CE QUE LE SON ?

#### UNE QUESTION DE VIBRATIONS

Le son prend naissance lors de la vibration d'un objet ou d'un milieu pouvant être solide, liquide ou gazeux. Cette vibration se propage jusqu'à nos oreilles et fait vibrer nos tympans. Quand un objet vibre, il communique son mouvement aux molécules qui le composent et qui l'entourent. Dérangées dans leur position d'équilibre, ces molécules agissent à leur tour de proche en proche. Ce phénomène se produit sans transport de matière. Les particules du milieu entrent en vibration les unes après les autres autour de leur position d'équilibre. La propagation de cette perturbation forme l'onde sonore. On peut comparer celle-ci au mouvement d'un ressort : les premières spires comprimées se détendent et transmettent aux spires voisines la compression qui se propage tout au long du ressort. L'onde sonore produit une variation réversible des propriétés physiques du milieu.



#### À VITESSES VARIÉES

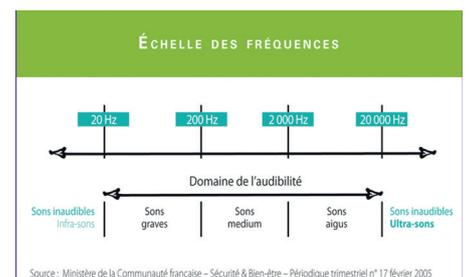
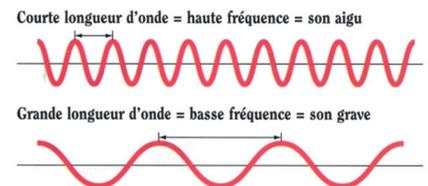
Le son met du temps à se déplacer et sa vitesse de propagation est déterminée par les caractéristiques du milieu qu'il traverse. Lors du passage d'une onde sonore, le milieu de propagation est soumis à une suite de compressions et de dilatations et réagit en fonction de son état et de ses propriétés physiques, notamment sa densité, et sa compressibilité, c'est-à-dire sa capacité à reprendre sa forme initiale après déformation. Ces deux composantes sont également influencées par des paramètres tels que la température et la pression. L'onde sonore se propage mieux quand le support est dense car les molécules sont alors plus proches les unes des autres et la vibration se transmet donc plus rapidement entre elles. Ainsi, le son se transmet mieux dans les solides et à travers l'eau que dans le milieu aérien. À titre d'exemple sa vitesse est de 340 m/s dans l'air à 15°C, 1 480 m/s dans l'eau pure, 3 200 m/s dans la glace, 5 300 m/s dans le verre et 5 800 m/s dans l'acier. En revanche, dans le vide, dépourvu de matière, aucune onde sonore ne se propage.

#### À VOIR DANS L'EXPO...

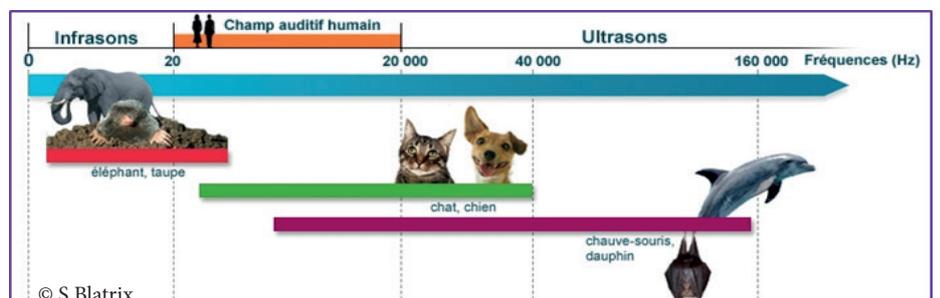
Testez l'activité « La cloche à vide ». Si on met une source sonore sous une cloche, on entend le son. En revanche, si on fait le vide sous la cloche, le son disparaît puisqu'il n'y a plus de molécules d'air et donc plus de matière pour le propager. Ainsi, dans l'espace interstellaire, où la densité de matière est extrêmement faible, il n'y a pas de son.

#### HISTOIRE DE FRÉQUENCE...

Les variations de pression produites lors de la propagation de l'onde peuvent se traduire graphiquement par une sinusoïde. La distance entre deux sommets de la sinusoïde est la longueur d'onde. Celle-ci est en rapport avec la fréquence qui correspond au nombre de vibrations par seconde. La hauteur du son dépend de la fréquence des oscillations. Plus les fréquences sont élevées (et donc le nombre de vibrations important) plus le son est aigu. Si les fréquences sont basses, le son est grave. On exprime la fréquence en Hertz (Hz).



L'être humain n'entend que les sons compris entre 20 et 20 000 Hz. Mais il existe des sons plus graves et plus aigus. En-dessous de 20 Hz ce sont les infrasons, et au-dessus de 20 000 Hz ce sont les ultrasons. Beaucoup d'animaux les perçoivent.



# LES TRANSFORMATIONS DU SON

Selon qu'on écoute un son via un lecteur MP3, dans une salle de concert, etc. ce son peut passer par différentes étapes et connaître certaines transformations.

## REPRODUCTION

Pour reproduire un son, il faut en premier lieu le transformer en courant électrique. Cette étape est mise en œuvre par le micro. Lorsque l'on approche un aimant d'une bobine de fil conducteur, le champ magnétique généré par l'aimant induit un courant électrique dans la bobine. C'est exactement ce qu'il se passe dans un micro qui est constitué d'un aimant et d'une bobine reliée à une membrane. Celle-ci se met à vibrer sous l'effet de la voix du chanteur. Cela entraîne le même mouvement sur la bobine qui va et vient entre les bornes de l'aimant. Ceci génère alors un courant électrique de même fréquence que la voix du chanteur. Le micro a donc converti les sons en signaux électriques.

## AMPLIFICATION

À la sortie du micro, le courant électrique est très faible, il faut donc l'amplifier. Les systèmes d'amplification vont décupler l'amplitude de l'onde électrique. Un amplificateur parfait ne déforme pas le signal d'entrée : sa sortie est une réplique exacte de l'entrée avec une amplitude majorée. Pour parvenir à ce résultat, l'amplificateur permet de mélanger deux courants électriques :

- Un courant électrique qui module de la même manière que la source sonore, caractérisé par une faible intensité et issu du micro.
- Un courant électrique qui ne module pas comme la source sonore, caractérisé par une très forte intensité et issu de la prise du secteur.

Lorsque ces deux courants se mélangent, on obtient, à la sortie de l'amplificateur, un courant de grande amplitude et modulant à la fréquence de la source sonore. Après avoir été amplifié, le courant est envoyé vers

## À VOIR DANS L'EXPO...

Découvrez l'activité « Amplifier ». Percevez les deux sons que vous pouvez observer sur l'écran. En utilisant le potentiomètre, faites varier (déphaser) le second son et observez ce qu'il se passe. Lorsque les deux ondes sonores sont "en phase", le son est amplifié. Par contre, lorsque les deux ondes sont en complète opposition de phase, les deux s'annulent, il n'y a donc plus de son. C'est ce principe qui est utilisé pour les casques anti-bruit.

les enceintes. Les haut-parleurs possèdent eux aussi une membrane que le courant électrique amplifié va faire vibrer. Le haut-parleur reconvertit les signaux électriques, par l'intermédiaire d'un aimant et d'une bobine, en ondes sonores amplifiées.

## COMPRESSION

Depuis l'invention du CD, enregistrer correspond à convertir le signal analogique en signal numérique. À partir d'un temps de référence, on mesure la valeur analogique et on lui donne une valeur numérique. Le problème majeur de cette conversion est la taille du fichier obtenu. Stocker toutes les fréquences sonores et leurs variations avec un temps de référence très rapide pèse lourd. Afin que les fichiers audio prennent moins de place, il a fallu les compresser. La compression du son a été envisagée en partant du principe que l'oreille ne fait pas la discrimination entre tous les sons qui lui parviennent. Il est donc possible de réduire la taille de l'échantillonnage sans que l'oreille ne s'en aperçoive. Les fichiers comprimés éliminent aussi les fréquences que l'oreille humaine ne peut pas entendre, comme les ultrasons, bien que ceux-ci participent à la richesse du son.

## À VOIR DANS L'EXPO...

Testez l'activité « Compression ». Écoutez plusieurs morceaux de musique et tentez de retrouver celui dont le son est le moins compressé !

## SONORISATION

La sonorisation c'est la diffusion du son dans un espace important comme une salle de concert. Pour sonoriser efficacement un lieu, il s'agit de bien connaître les propriétés acoustiques de la salle. L'emplacement des enceintes est primordial. Celles qui diffusent les sons graves sont disposées au sol, celles des sons aigus sont en hauteur. Cette implantation doit permettre au public d'avoir l'impression qu'il n'y a qu'un seul haut-parleur. La balance des instruments est un travail de précision dans le réglage du son. Ce qu'entend le public doit être équilibré et de nombreux paramètres sont réglés : le niveau des basses, la résonance, etc. La balance est différente d'un groupe à l'autre car elle est liée à la manière dont le groupe joue. Pour égaliser l'ensemble, les techniciens du son utilisent un bruit calibré qui sert de référence.

## À VOIR DANS L'EXPO...

Découvrez l'activité « Mixage ». Mettez-vous dans la peau d'un ingénieur du son et équilibrez à votre goût les différents instruments.

# DU SON À L'AUDITION

Le fonctionnement de l'oreille est bien plus complexe qu'il n'y paraît. La partie visible, externe, de notre organe de l'audition n'est qu'une petite partie de l'appareil auditif, le reste étant caché. Chacune de nos oreilles est en fait constituée de trois régions : externe, moyenne et interne (voir schéma ci-contre).

Le cerveau va alors analyser l'information reçue et interpréter le son perçu. Plusieurs aires cérébrales et différents niveaux de traitement sont impliqués dans l'analyse des informations auditives.

## QUAND ON ENTEND MAL...

Notre système auditif est parmi les plus perfectionnés et la capacité d'entendre met en jeu de multiples mécanismes. Du fait de cette complexité, les causes possibles de troubles auditifs sont plurielles et peuvent se situer à différents niveaux. Chaque maillon de la chaîne de l'audition peut se trouver endommagé, avec en conséquence une baisse ou un trouble de l'audition au niveau d'une ou des deux oreilles.

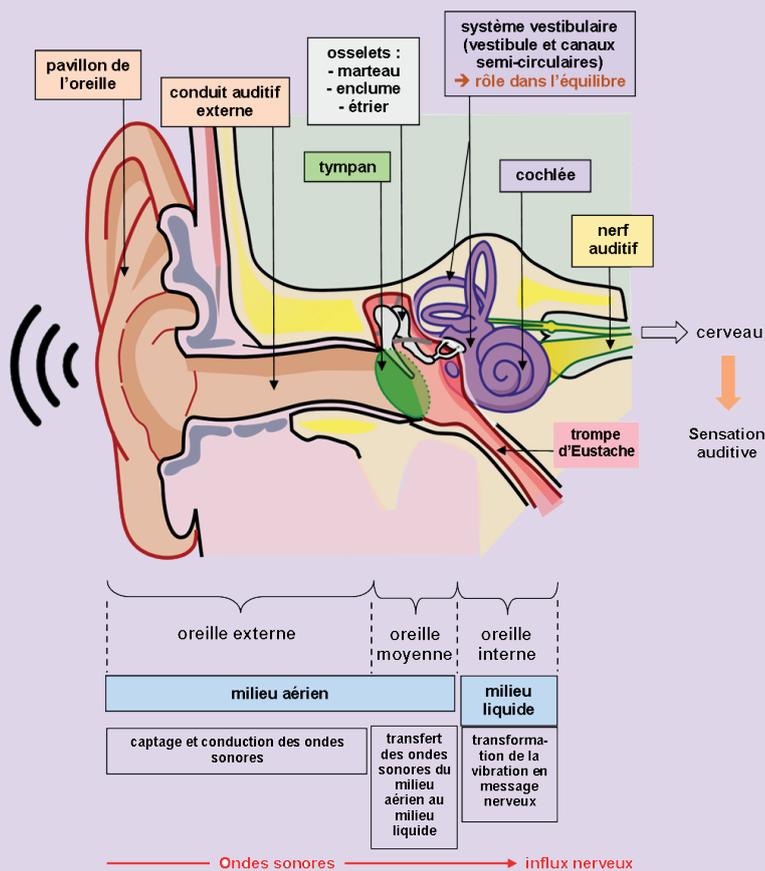
## LA SURDITÉ

La surdité, appelée aussi hypoacousie, désigne la diminution de l'acuité auditive. On distingue plusieurs degrés de surdités : légères, moyennes, sévères, profondes ou totales. Plus de 10 % de la population française serait confrontée à une baisse de l'audition. Il existe plusieurs types de surdités et diverses origines à celles-ci. Bien qu'il y ait quelques rares formes impliquant le cerveau, dans la plupart des cas le trouble vient d'un problème au niveau de l'oreille : l'oreille externe et moyenne quand il s'agit d'un dysfonctionnement dans la transmission ; l'oreille interne essentiellement pour les surdités de perception dites « neurosensorielles ». On distingue aussi les surdités génétiques des surdités acquises. Les troubles auditifs peuvent se manifester à tout âge, et apparaître progressivement ou subitement. Ils peuvent être la conséquence d'une maladie ou d'un traumatisme, ou être liés à une diminution naturelle des capacités auditives liée à l'âge.



La diminution progressive de l'acuité auditive qui tend à apparaître à partir de 50 ans environ est appelée la

## L'OREILLE EN RÉSUMÉ...



### L'oreille externe... ou le récepteur

L'oreille externe est constituée de deux parties : le pavillon et le conduit auditif externe. Le son est capté par le pavillon et dirigé vers le conduit auditif. Celui-ci le canalise jusqu'au tympan. On arrive alors à l'oreille moyenne.

### L'oreille moyenne... ou l'amplificateur et adaptateur

L'oreille moyenne est une cavité remplie d'air. Elle comprend le tympan et trois petits os appelés les osselets. Fermant le conduit auditif externe, le tympan est constitué d'une très fine membrane. Celle-ci se met à vibrer sous l'effet d'une onde sonore. Les vibrations sont alors transmises aux osselets organisés en une chaîne reliée mécaniquement au tympan. Dans l'ordre on trouve le marteau, l'enclume puis l'étrier. En contact les uns avec les autres, ils transmettent l'onde sonore jusqu'à l'oreille interne via une membrane contre laquelle s'applique une partie de l'étrier. La configuration de l'oreille moyenne entraîne une amplification des vibrations.

### L'oreille interne ... ou le convertisseur

La transmission à l'oreille interne implique le passage vers un autre milieu : en effet cette partie de l'oreille ne contient plus d'air mais des liquides. L'oreille interne renferme deux organes distincts : le système vestibulaire et la cochlée. Seule la cochlée est impliquée dans l'audition. L'organe vestibulaire est quant à lui le siège des fonctions de l'équilibre.

La cochlée se présente comme un long cône enroulé en spirale, ressemblant à un escargot. Sous l'effet des mouvements de l'étrier contre la membrane se trouvant à l'interface entre l'oreille moyenne et l'oreille interne, les vibrations sont transmises au liquide dont la cochlée est remplie. Celle-ci est tapissée de cellules ciliées sensorielles. Stimulées sous l'effet des vibrations, ces cellules vont générer une impulsion nerveuse et transmettre ainsi les informations reçues au cerveau via le nerf auditif. Les cellules situées à l'entrée de la cochlée sont sensibles aux fréquences les plus hautes (sons aigus) et celles situées au fond aux fréquences les plus basses (sons graves).

« presbycusie ». Il ne s'agit pas d'une maladie mais du vieillissement naturel de l'oreille interne. Il s'observe cependant une variabilité d'un individu à l'autre. Par ailleurs, les hommes sont davantage touchés que les femmes et de manière plus précoce. Cette baisse de sensibilité auditive concerne particulièrement les fréquences les plus aiguës. Le vieillissement de l'oreille peut être accéléré sous l'effet de problèmes ou de traumatismes auditifs accumulés tout au long de la vie.

Outre la presbycusie, les causes de pertes auditives chez les adultes peuvent être variées : liées à des infections, à des malformations, à des traumatismes auditifs, etc. Il existe également des causes génétiques qui peuvent parfois ne se manifester qu'à l'adolescence ou à l'âge adulte. Des troubles auditifs peuvent également être causés par des molécules dites « ototoxiques », autrement dit potentiellement toxiques pour l'oreille interne, présentes dans certains produits chimiques et médicaments. Quant à l'enfant, entre 50 et 60% des surdités sont d'origine génétique.

Par ailleurs, de nombreux troubles et pertes auditives résultent de traumatismes sonores souvent liés à une exposition

répétée à des sons trop intenses dans le cadre professionnel ou de loisirs (concerts, discothèques, dispositifs d'écoute audio, etc.). Ils impactent essentiellement l'oreille interne en altérant voire en détruisant les cellules ciliées. Or celles-ci ne se renouvellent pas. Les effets de ces traumatismes peuvent être immédiats mais ils peuvent aussi se manifester des années plus tard. La sensibilisation à ces risques est devenue un enjeu majeur.

### LES ACOUPHÈNES

Les surdités acquises sont assez fréquemment accompagnées d'une autre atteinte auditive : les acouphènes. Il s'agit de sifflements, bourdonnements, grésillements, ou autres sons de tonalités variables perçus au niveau d'une ou des deux oreilles, ou de façon diffuse dans la tête, en l'absence de tout stimulus externe. Ils peuvent être constants ou intermittents, plus ou moins intenses, temporaires ou persistants. Cette perception peut être très invalidante. Les causes possibles sont nombreuses et les mécanismes en jeu pas toujours identifiés. Beaucoup ont pour origine un problème dans l'oreille interne. En France, plus de 8 millions de personnes souffrent d'acouphènes.

### QUAND LES DÉCIBELS SONT EN CAUSE

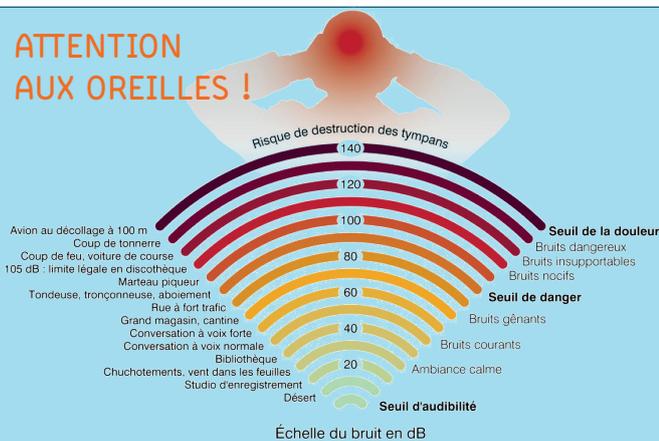
Les atteintes auditives liées à une exposition à des niveaux sonores élevés sont nombreuses. Préserver au mieux son capital auditif passe ainsi par l'adoption de bonnes attitudes. Dans les situations à risques (concerts, environnements de travail à forte intensité sonore, etc.) la protection auditive au moyen de bouchons atténuateurs ou de casques est primordiale pour préserver son audition, de même que limiter le temps d'exposition, faire des pauses acoustiques régulières, baisser le volume sonore des appareils audio, etc.

En plus des risques auditifs occasionnés, le bruit constant a de nombreux autres impacts sur notre organisme : perturbation du sommeil, stress, anxiété, fatigue, risques accrus d'hypertension et d'accidents cardio-vasculaires, etc.

### À VOIR DANS L'EXPO...

Testez l'activité « Échelle de décibels ». Parviendrez-vous à retrouver le nombre de décibels correspondant aux différentes situations sonores ? Avec l'activité « Risques auditifs » découvrez les impacts de l'excès de bruit sur l'organisme.

## ATTENTION AUX OREILLES !



Le niveau sonore s'exprime en décibels et se mesure avec un sonomètre. Une « échelle du bruit » classe les sons de notre environnement en fonction de leur niveau sonore.

- **Jusqu'à 80 dB** : notre capital auditif n'est pas altéré, l'oreille peut supporter sans risque le niveau sonore de 80 dB jusqu'à 8h par jour. En revanche, des expositions au-delà de ce seuil présentent un impact sur l'audition.

- **De 80 à 90 dB** : le niveau sonore approche le seuil de nocivité, l'oreille supporte ces intensités sur des temps courts, mais des expositions de longue durée peuvent occasionner des risques. Pour cette raison, l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) recommande de limiter l'exposition à des sons dont l'intensité atteint ou dépasse ces valeurs.

- **De 90 à 115 dB** : l'oreille est en danger. Plus le son est fort, moins il faut de temps d'exposition pour provoquer des lésions. Les cils de l'oreille interne sont abîmés ou détruits au bout de quelques minutes, voire quelques secondes.

- **Au-delà de 115 dB** : à ce niveau sonore un bruit même très bref provoque immédiatement des dommages irréversibles.

## QUAND LE SON DEVIENT MUSIQUE

Chez l'Homme, les sons portent encore une autre dimension, tout à la fois culturelle, cognitive et sociale : celle de la musique.

### EFFETS ET BIENFAITS

La musique dépasse la seule construction sonore, elle est une expérience sensorielle capable de susciter des états émotionnels et physiologiques spécifiques, que des stimulations sonores non musicales ne peuvent pas induire. Si elle peut ainsi éveiller des émotions intenses, stimuler ou apporter du plaisir, c'est qu'elle a une action directe sur le cerveau, et cela entraîne la libération de certaines hormones et des réactions physiologiques associées telles que ralentissement ou accélération des rythmes cardiaques ou respiratoires, frisson, transpiration, contraction ou relâchement musculaire, etc. Sous l'effet des réactions, émotionnelles et physiologiques, qu'elle déclenche dans notre corps, la musique influe ainsi sur nos comportements. En fonction du morceau choisi, la musique peut alors relaxer, favoriser la concentration, améliorer la performance et les capacités physiques, atténuer la perception de la douleur, etc. De plus en plus d'études portent sur les effets de la musique et il reste encore beaucoup à découvrir.

### PRODUIRE DE LA MUSIQUE

À l'origine des vibrations sonores qui produisent les notes de musique se trouvent les musiciens et leurs instruments. En fonction de la source de vibration du son, les instruments conventionnels sont classés en trois grands groupes :



Les instruments à vent ou aérophones : Le son est produit par une vibration de l'air, qui peut être provoquée

de différentes manières : par le souffle d'un instrumentiste (flûtes, trompette, etc.), par une soufflerie mécanique (orgue, accordéon, etc.), ou par une poche d'air (cornemuse par exemple). Les instruments à vent sont regroupés en deux grandes familles : les bois et les cuivres, ces termes renvoyant à la manière dont la vibration est produite, et non au matériau qui les constitue. En ce qui concerne les cuivres, le son est produit par la vibration des lèvres du musicien dans une embouchure (trompettes, trombones, cors, etc.). Dans le cas des bois, il est produit par la vibration de l'air se fendant sur un biseau, comme pour les flûtes, ou faisant vibrer une anche (lamelle) comme c'est le cas pour l'accordéon, la clarinette ou encore le saxophone.



Les instruments à cordes, ou cordophones : Le son est produit par la vibration d'une corde, amplifiée ou non par une caisse de résonance. Plusieurs familles de cordophones sont distinguées selon la manière dont la corde est utilisée : les instruments à cordes pincées (guitare, harpe, etc.), à cordes frottées (violon, violoncelle, etc.) ou à cordes frappées (piano, clavichorde, etc.).



Les instruments de percussion : L'émission sonore est provoquée par divers gestes : frapper, racler, entrechoquer, secouer, gratter,

etc. appliqués sur une membrane ou un matériau résonnant. Il en existe deux sous-groupes : les idiophones, qui produisent le son par eux-mêmes, sans caisse de résonance (cymbale, xylophone, maracas, etc.) et les membranophones, où les sons sont produits par la vibration d'une membrane tendue sur un cadre (djembé, tambours, etc.)

### Quand électronique et numérique rejoignent la musique...

Les avancées en matière d'électronique puis d'informatique ont permis au fil du temps l'émergence de nouveaux types d'instruments : électromécaniques (guitare ou piano électriques par exemple), puis électro-analogiques (synthétiseur), et enfin depuis 2012 les instruments numériques. Actuellement, se développe la modélisation instrumentale permettant la création d'instruments virtuels.

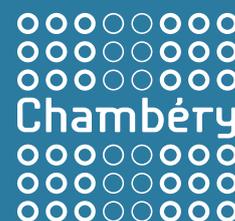
*C'est tout un voyage au fil des ondes, de l'oreille et des notes, ces mondes variés et pourtant si proches réunis autour du son, qu'offre l'exposition « ElectroSound, les coulisses du son ». Celle-ci invite à approfondir ces domaines, de l'onde sonore aux techniques de transformation du son, des différentes parties de l'oreille aux risques auditifs et des courants musicaux aux dernières nouveautés en matière de musique électronique. Si nos connaissances sont de plus en plus pointues dans ces domaines, bien des choses restent à découvrir, et la musique pourrait servir d'outil dans la connaissance du cerveau et de ses processus cognitifs.*

### Document réalisé par l'équipe médiation de la Galerie Eurêka

Galerie Eurêka - C.C.S.T.I. de la Ville de Chambéry  
Hôtel de Ville BP 11 105  
73 011 CHAMBERY cedex  
tel : 04 79 60 04 25

e-mail : galerie.eureka@ccsti-chambery.org

Site Internet : www.chambery.fr/galerie.eureka



Chambéry

GALERIE EURÊKA