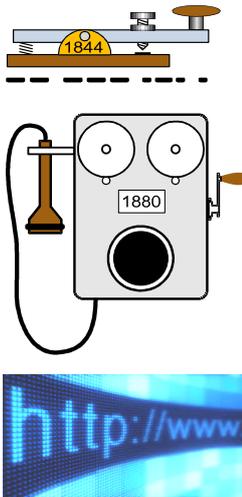


## Bases de la téléphonie

### Historique



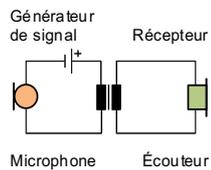
- 1844 Samuel Morse construit une ligne télégraphique entre Washington et Baltimore.
- 1861 L'Allemand Phillip Reis présente son téléphone, mais ne dépose pas de brevet.
- 1876 L'Américain Graham Bell développe le téléphone en vue d'une production en série.
- 1880 La compagnie de téléphonie privée zurichoise inaugure le 1<sup>er</sup> réseau téléphonique en Suisse.
- 1897 L'Italien Guglielmo Marconi réalise la première transmission radio.
- 1932 La première transmission de télévision sans fil est présentée à Berlin.
- 1941 Konrad Zuse conçoit le premier ordinateur fonctionnel Z3.
- 1966 Premiers systèmes de transmission utilisant la fibre optique.
- 1978 Lancement du réseau téléphonique automobile national (NATEL) en Suisse.
- 1981 Lancement de la téléphonie numérique en Suisse avec Swissnet 1, puis RNIS.
- 1993 Berners-Lee invente le navigateur web et le World Wide Web au CERN.
- 2009 WhatsApp pour les fichiers texte, image, vidéo et son via smartphone.
- 2017 Conversion de la téléphonie fixe analogique et du RNIS vers le protocole Internet (VoIP).

### Transmission téléphonique

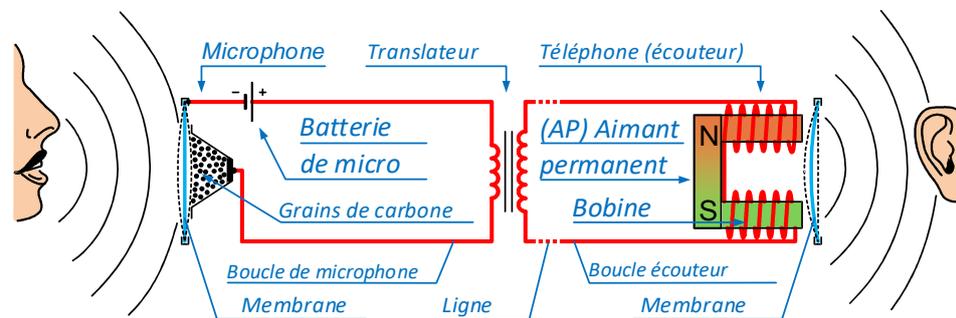
L'émetteur (microphone) convertit les ondes acoustiques en signaux électriques (analogiques). Les signaux électriques sont transformés (translateur) pour qu'ils puissent également parcourir de plus grandes distances. Le récepteur (écouteur) reconvertit les signaux électriques en ondes acoustiques.

#### Circuit (historique)

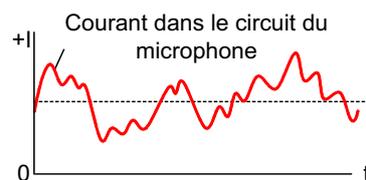
Schéma électrique avec les symboles normalisés :



Désignez les éléments du dessin ci-contre.



#### Courants



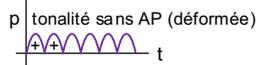
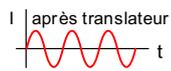
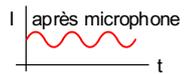
Désignez les deux types de courants.

*Courant continu pulsé (courant mixte) - Courant alternatif de conversation*

Les courants décrits constituent la base de la **téléphonie** analogique.



## Description

**Parole**

La membrane (disque métallique mince) appuie sur les grains de carbone. Ceux-ci modifient leur résistance, ce qui génère un courant continu pulsé (signal analogique).

**Transmission**

Le translateur (transformateur) convertit le courant continu pulsé en courant alternatif de conversation. Il augmente par ailleurs la tension sur la ligne.

**Écoute**

Sans aimant permanent, l'alternance positive et l'alternance négative attireraient la membrane tour à tour (la fréquence du signal serait doublée). Avec un aimant permanent, au repos, la membrane est déjà attirée. En fonctionnement, le champ magnétique de l'aimant est renforcé ou diminué par le champ produit par la bobine.

## Alimentation du téléphone

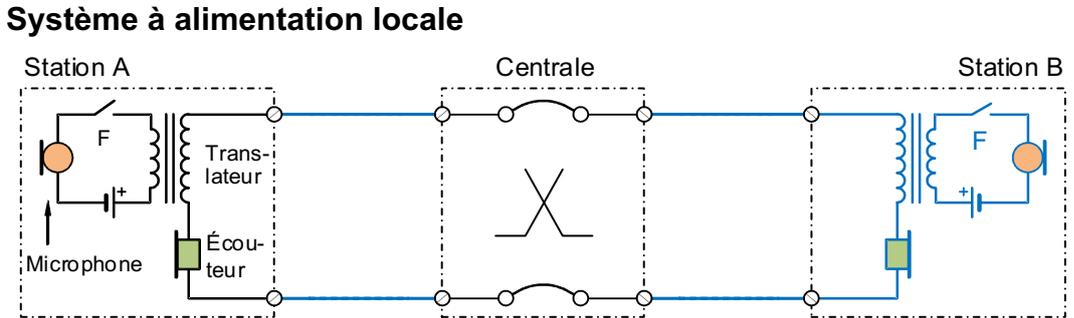
Batterie locale :  
1,5 ... 3 V<sub>CC</sub>  
Batterie centrale :  
24 ... 60 V<sub>CC</sub>  
All-IP: 0 V<sub>CC</sub>

Les microphones sont toujours raccordés en série à l'alimentation (batterie). Le contact de fourchette (F) coupe l'alimentation lorsque l'écouteur est raccroché. Le système de transmission et le dispositif de sonnerie ne sont pas représentés sur les schémas ci-dessous.

Selon l'emplacement de l'alimentation en énergie, on distingue différents systèmes.

### Batterie locale

Dessinez les éléments de la station B et reliez les stations à la centrale.



L'alimentation s'effectue à partir de chaque station. Afin de minimiser les pertes dans la ligne de transmission, le signal de faible amplitude produit par le microphone est élevé à l'aide du translateur. En cas de panne d'une des deux batteries, plus aucune conversation ne peut être effectuée.

**Applications :** premières connexions téléphoniques, téléphone militaire, protection civile et téléphone jouet d'enfants.

Remarque : les téléphones mobiles et les téléphones VoIP sont également alimentés « localement ».

### Système à alimentation centrale

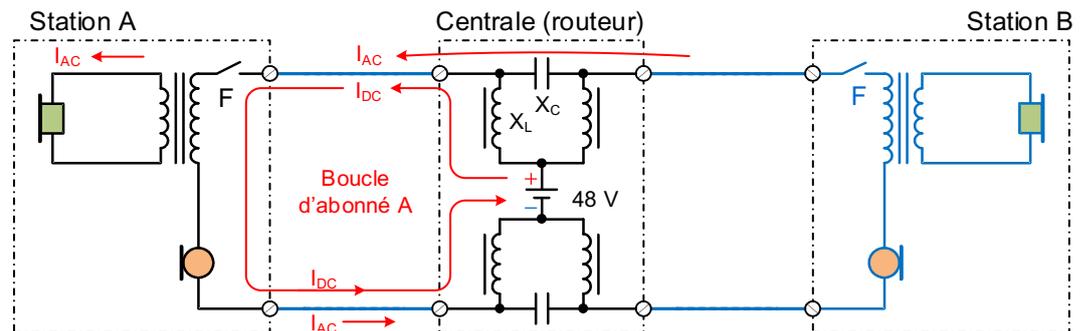
### Batterie centrale

Dessinez les éléments de la station B et reliez les stations à la centrale.

Aide mémoire



L'alimentation par le réseau n'est pas nécessaire pour All-IP & VoIP.



Le courant alternatif de conversation est transmis dans la centrale par les **condensateurs** X<sub>c</sub> et bloqué par les inductances (bobines) X<sub>L</sub> (filtre passe-haut). Par contre, les stations raccordées sont alimentées au travers des **inductances** sans que le courant alternatif vocal ne soit court-circuité par la batterie (filtre passe-bas).

**Application :** anciens centraux locaux, autocommutateurs d'abonné, interphones, téléphone analogique sur le routeur (connexion : téléphone, tél.).

Composants des appareils de communication



Inductances (bobines)



Condensateur



Résistance

### Influence de la fréquence sur la résistance électrique

Selon le type de courant, certains composants présentent, en fonction de la fréquence, une **basse impédance** (*perméabilité au courant*) ou une **haute impédance** (blocage de courant). D'autres sont **indépendants** de la fréquence.

Les lignes de transmission réagissent également indépendamment de la fréquence en raison de leur résistance ohmique, inductive et capacitive. Les signaux à haut débit et à haute fréquence ne sont que faiblement transmis.



Complétez le tableau par analogie :

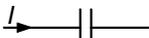
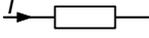
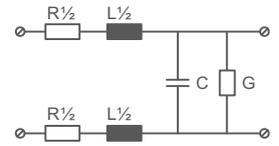
Composant, symbole	haute fréquence, AC	basse fréquence, DC
<b>Inductances (bobines) XL</b> 	<i>Valeur de réactance élevée, faible courant</i>	<i>Faible valeur de réactance, courant important</i>
<b>Condensateur XC</b> 	<i>Faible valeur de réactance, courant important</i>	<i>Valeur de réactance élevée, faible courant</i>
<b>Résistance R</b> 	<i>La résistance est indépendante de la fréquence</i>	<i>La résistance est indépendante de la fréquence</i>

Schéma équivalent d'une ligne de transmission



R résistance de ligne  
 L inductance de ligne  
 C capacité entre les conducteurs  
 G conductivité de l'isolation

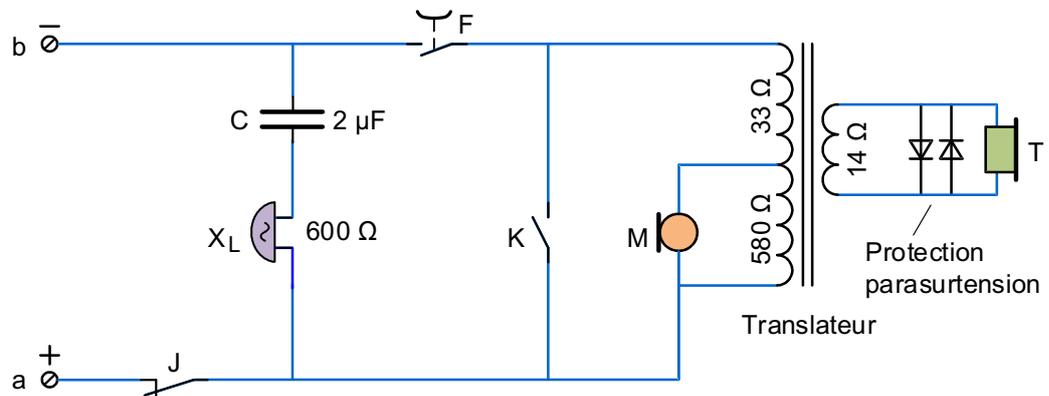
## Fonctions de base analogiques



Modèle 29

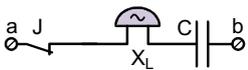
Complétez le schéma. Les circuits électriques doivent être colorés.

Comparez les schémas partiels ci-dessous avec le schéma de droite !



### Fonctionnement des circuits électriques

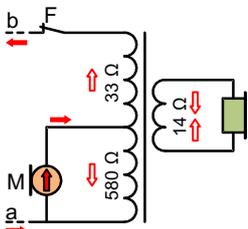
#### Appel (violet)



#### Circuit d'appel (courant alternatif)

Le combiné est raccroché ( $F \leftarrow$ ): borne  $a \Rightarrow$  contact pour impulsions de sélection  $\Rightarrow$  sonnerie  $X_L \Rightarrow$  condensateur  $C \Rightarrow$  borne  $b$ .  $C$  bloque le courant continu d'alimentation.

#### Voix (rouge)



#### Circuit vocal

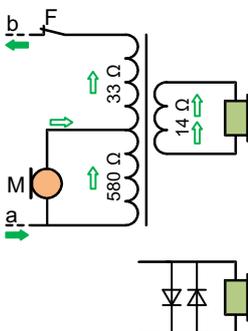
Le combiné est décroché ( $F \rightarrow$ ): borne  $a \Rightarrow$  contact pour impulsions de sélection  $J \Rightarrow$  microphone  $M \Rightarrow$  bobine  $33 \Omega \Rightarrow$  contact de fourchette  $F \Rightarrow$  borne  $b$ .

**Circuit de microphone** : le microphone modifie sa résistance au rythme de la fréquence vocale, ce qui change le courant continu d'alimentation (tension alternative superposée à une composante continue).

**Retour** : le courant du microphone  $\rightarrow$  se répartit sur les bobines  $33 \Omega$  et  $580 \Omega$  et magnétise le translateur en *sens opposé*.  $\leftarrow \rightarrow$

Le signal vocal est transmis à l'écouteur de manière atténuée en raison des différences de bobinage. Sans ce retour, le locuteur aurait l'impression que la ligne est coupée.

#### Écoute (vert)



#### Circuit d'écoute

Le combiné est décroché ( $F \leftarrow$ ): le courant alternatif vocal provenant de la station de retour par la borne  $a \rightarrow$  se divise :

1. par le microphone et la bobine de  $33 \Omega \Rightarrow$  ;
2. par la bobine de  $580 \Omega$  et la bobine de  $33 \Omega \Rightarrow$ .

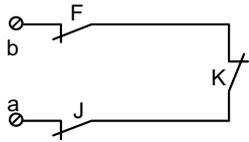
Les bobines  $33 \Omega$  et  $580 \Omega$  du translateur sont parcourues *dans le même sens*.  $\Rightarrow \Rightarrow$

Le courant alternatif vocal est transmis à l'écouteur par la bobine de  $14 \Omega$ .

**Parasurtension** : deux diodes antiparallèles suppriment les chocs acoustiques de la ligne d'alimentation, causés par les orages ou les fluctuations de courant des lignes électriques parallèles aux lignes téléphoniques (aujourd'hui varistance).



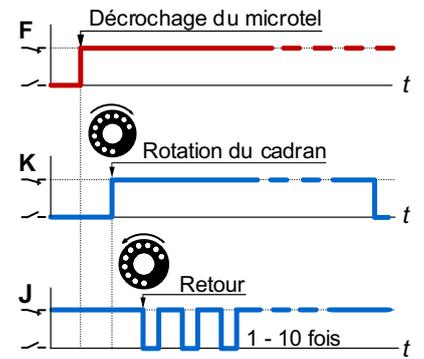
### Sélection (bleu)



### Boucle de sélection

Le combiné est décroché (**F** → ) : pendant la numérotation, le contact de court-circuit **K** se ferme pour supprimer les grésillements sur l'écouteur. En relâchant le cadran, le contact **J** s'ouvre de 1 à 10 fois, selon le numéro.

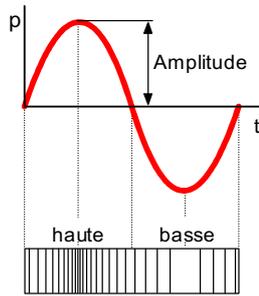
Les stations plus récentes sont équipées d'un système de sélection multifréquence au lieu de la numérotation par impulsions. Dans le cas de la VoIP, les numéros sont codés numériquement [TM ⇒ 6.4].



## Notions d'acoustique

### Sons et fréquence

Pression acoustique  $p$  de l'air

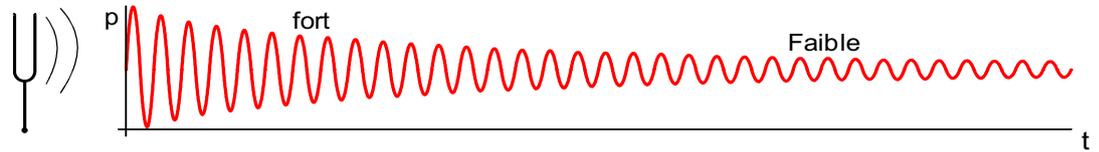


#### Diapason

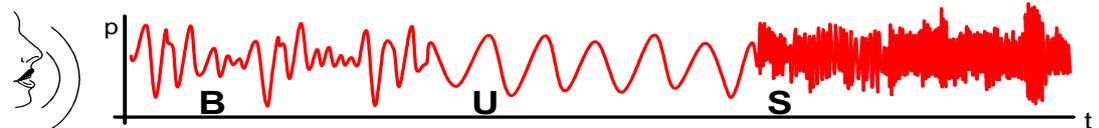
La note d'accord des orchestres est le « la » à la fréquence de 440 Hz.

L'acoustique, la science du son, englobe tous les phénomènes perçus par l'oreille, c'est-à-dire les vibrations dans la gamme audible. Les ondes sonores sont des variations de pression dans l'air. Plus la pression (amplitude) est élevée, plus les ondes sont denses et plus le son est fort. Les ondes sonores se propagent dans toutes les directions spatiales dans ce que l'on appelle les fronts d'ondes.

L'oscillogramme du diapason présente un son sinusoïdal d'une fréquence de 440 Hz.



L'oscillogramme montre les oscillations du mot « BUS » (échelle comme ci-dessus)



Fréquence de la lettre « U » dans le mot « BUS » ?  $f = 220 \text{ Hz}$

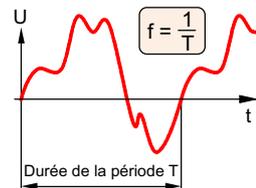
### Hauteur du son et timbre

La nature aiguë ou grave d'un son dépend de sa fréquence fondamentale. Le timbre (la tonalité) d'un son ou d'un bruit se compose de la fréquence fondamentale  $f$  et de diverses fréquences harmoniques  $2f$ ,  $3f$ , etc. La fréquence  $f$  est l'inverse de la période  $T$ .

Un processus périodique (oscillation, son) peut être composé d'une somme d'oscillations partielles sinusoïdales.

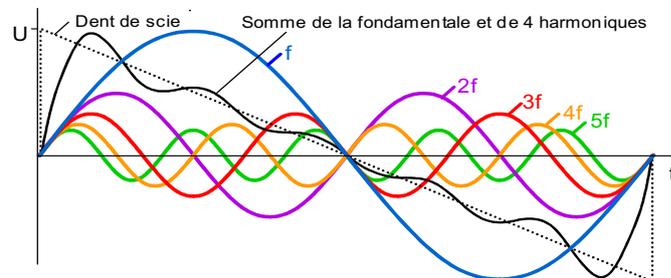
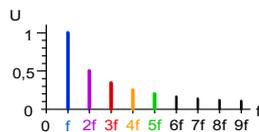
Les fréquences des oscillations partielles sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.

Génération d'un signal en dent de scie à partir de 5 oscillations partielles sinusoïdales.



#### Signal en dent de scie

Composition d'une tonalité sur la base de plusieurs sons : (synthèse de Fourier). Spectre des fréquences d'un signal en dent de scie :



Fréquence fondamentale  
par ex.  $f = 500 \text{ Hz}$

$$u_1 = \hat{u} \cdot \sin(t)$$

1. Harmonique,  $2f = 1000 \text{ Hz}$

$$u_2 = \hat{u}/2 \cdot \sin(2t)$$

2. Harmonique,  $3f = 1500 \text{ Hz}$

$$u_3 = \hat{u}/3 \cdot \sin(3t)$$

3. Harmonique,  $4f = 2000 \text{ Hz}$

$$u_4 = \hat{u}/4 \cdot \sin(4t)$$

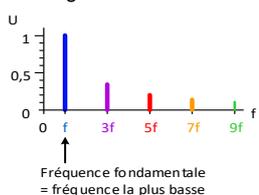
4. Harmonique,  $5f = 2500 \text{ Hz}$

$$u_5 = \hat{u}/5 \cdot \sin(5t)$$

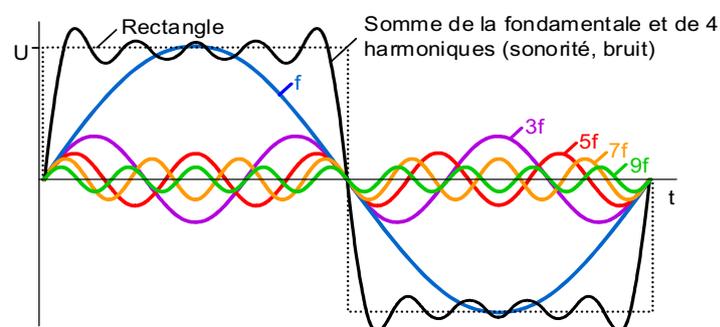
#### Signal carré

Plus le nombre d'harmoniques est important, plus le signal se rapproche d'un carré parfait.

Spectre des fréquences d'un signal carré :



Génération d'un signal carré à partir de 5 oscillations partielles sinusoïdales.



Fréquence fondamentale  
par ex.  $f = 500 \text{ Hz}$

$$u_1 = \hat{u} \cdot \sin(t)$$

1. Harmonique,  $3f = 1500 \text{ Hz}$

$$u_2 = \hat{u}/3 \cdot \sin(3t)$$

2. Harmonique,  $5f = 2500 \text{ Hz}$

$$u_3 = \hat{u}/5 \cdot \sin(5t)$$

3. Harmonique,  $7f = 3500 \text{ Hz}$

$$u_4 = \hat{u}/7 \cdot \sin(7t)$$

4. Harmonique,  $9f = 4500 \text{ Hz}$

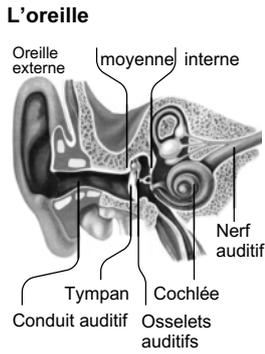
$$u_5 = \hat{u}/9 \cdot \sin(9t)$$

etc.

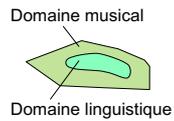
Les représentations montrent que pour transmettre fidèlement des signaux, dont les flancs sont très raides (carré, dent de scie ou impulsions), il faut transmettre de nombreuses harmoniques. Plus la bande passante est élevée plus la transmission du signal sera précise. Inversement, des impulsions rapides d'activation ou de désactivation de contacts ou de circuits électroniques génèrent des harmoniques électromagnétiques élevées qui peuvent propager des perturbations.

### Courbes isosoniques

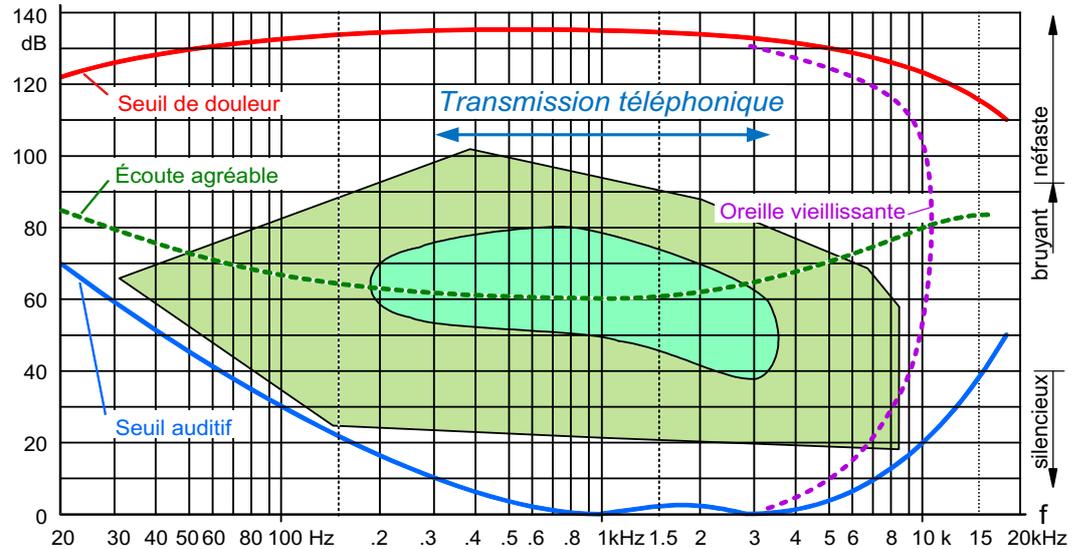
Courbes de niveaux de pression acoustique identiques en décibels (dB) de même sonie pour l'oreille humaine :



#### Intensité sonore



f < 16 Hz = infrason  
f > 20 kHz = ultrason



Selon un accord international, les signaux de téléphonie ont une bande de fréquence de 300 à 3400 Hz. Marquez cette plage réduite pour la transmission téléphonique.

Pour la compréhension de la parole humaine, la transmission de fréquences situées entre 200 et 3400 Hz est suffisante. Pour la musique, la plage doit être d'environ 30-8500 Hz.

Le décibel (dB) est l'unité de niveau d'intensité sonore et représente une grandeur logarithmique adaptée à la sensibilité du système auditif humain dont voici quelques règles :

- +3 dB : double puissance (deux sources sonores identiques au lieu d'une) [TM ⇒ 14]
- +6 dB : double pression acoustique (double amplitude de la pression atmosphérique)
- +10 dB : double volume sonore (perçu subjectivement par l'humain)

### Niveau d'intensité sonore et troubles auditifs

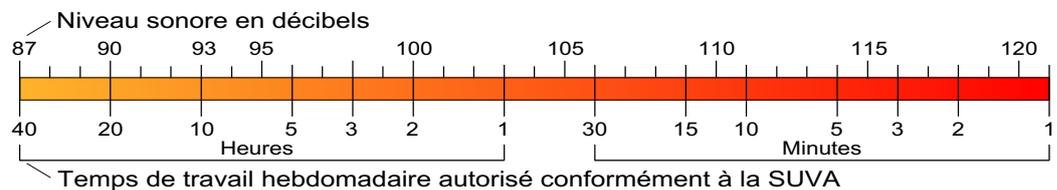
Un volume sonore élevé peut affecter l'oreille et entraîner une perte d'audition ou même provoquer des acouphènes (sifflement permanent dans l'oreille). L'énergie acoustique totale, c'est-à-dire la durée d'exposition et l'intensité, détermine les risques. Un son de très courte durée mais de grande intensité peut endommager de façon définitive les cils de l'oreille interne au point de provoquer des lésions auditives irréversibles. La SUVA prescrit que l'intensité acoustique sur les places de travail ne doit pas dépasser 87 dB pendant 40 heures par semaine. Chaque réduction de moitié du temps d'exposition autorise une augmentation de 3 dB de l'intensité sonore.

#### Valeurs limites légales en discothèques

- Piste de danse : **100 dB**
- Bord de la piste de danse : **95 dB**
- Bar, espace salon : **93 dB**

Des troubles auditifs surviennent à partir de **87 dB**, selon la durée d'exposition.

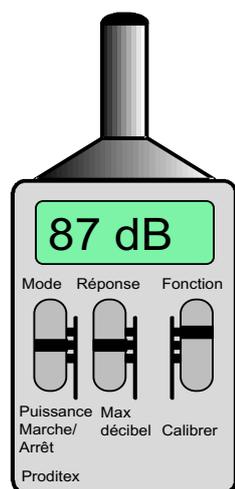
#### Niveau sonore et durée d'exposition



Complétez par la durée d'exposition hebdomadaire maximale (sans dommage auditif) :

Avion à réaction au décollage à 33 m de distance, seuil de douleur	<b>130 dB</b>	<b>5 s</b>
Concert de rock dans la zone du public, disco dans la zone de danse	<b>110 dB</b>	<b>13 min</b>
Scie circulaire, baladeur avec écouteurs	<b>105 dB</b>	<b>40 min</b>
Marteau pneumatique, klaxon de voiture (distance 5 m)	<b>100 dB</b>	<b>2 h</b>
Moto, camion (distance 5 m)	<b>90 dB</b>	<b>20 h</b>
Conversation bruyante	<b>60 dB</b>	<b>&gt; 40 h</b>
Chuchotement, tic-tac d'un réveil, ventilateur d'ambiance	<b>30 dB</b>	<b>&gt; 40 h</b>

#### Sonmètre



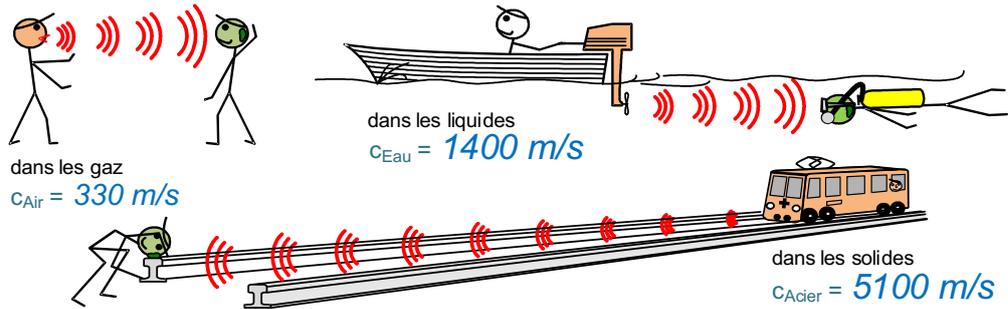


## Vitesse de propagation du son (célérité)

La vitesse de propagation du son dépend du milieu.

Le milieu dans lequel le son se propage peut être liquide, gazeux ou solide.

Désignez les vitesses  $c$ .



À titre de comparaison : La vitesse de la lumière  $c$  est de 300 000 km/s dans le vide.

### Vitesse de propagation du signal

La vitesse de propagation du signal dans les câbles est exprimée en pourcentage de la vitesse de la lumière, en anglais « Nominal Velocity of Propagation » (NVP). Elle est indiquée dans la fiche technique du fabricant de câble concerné.

Combien de temps faut-il pour transmettre un signal de Zurich à Genève dans un câble à fibres optiques (soit une distance de 223 km) ?

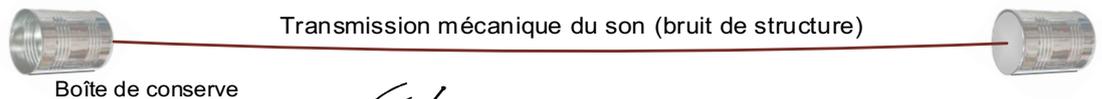
$$t = NVP \times s / c = 65 \% \times 223 \text{ km} / 300\,000 \text{ km/s} = 0.49 \text{ ms}$$

Valeurs usuelles de la NVP :

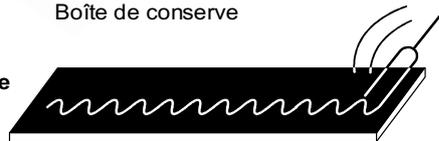
fibre optique : 65 %  
 ligne de cuivre : 80 %

## Essais

### 1. Téléphone filaire



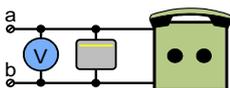
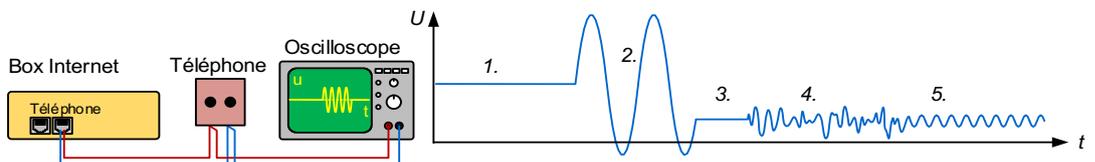
### 2. Tonalité = oscillation sinusoïdale mécanique



Noircir la surface de verre avec une bougie. Montrer l'oscillation sinusoïdale sur un rétroprojecteur à l'aide d'un long diapason oscillant auquel est fixée une aiguille pointue.

### 3. Interface analogique

Complétez les valeurs électriques.



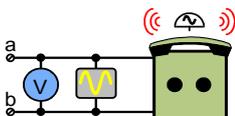
Les indications suivantes correspondent aux valeurs théoriques d'une interface a / b analogique :

**Raccroché 1 :** Tension de repos : 48 V    Type de courant : courant continu (DC)

**Appel 2 :** Tension d'appel : 70 V    Type de courant : courant alternatif (AC)

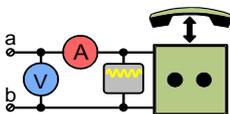
Fréquence : 25 Hz (PBX également 50 Hz)

Séquence d'appels : 1s 4s 1s 4s 1s t



**Décroché 3 :** Tension d'alimentation : 4-10 V DC    Courant de boucle : 15-50 mA DC

En décrochant le combiné, l'appareil téléphonique se met en basse impédance. L'augmentation du courant qui en résulte entraîne la désactivation de l'appel au niveau du routeur, de la centrale de raccordement ou d'un PBX.



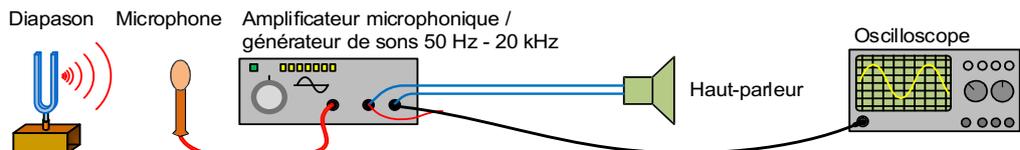
**Conversation 4 :** Tension : 380 mV AC    Type de courant : courant mixte (DC + AC)

**Tonalité 5 :** Tension : identique à une conversation    Fréquence : 425 Hz

### 4. Sources sonores

Mesure de la réponse en fréquence lors de l'audition.

Visualisation des tonalités sur l'oscilloscope.



### 5. Réflexions dans un câble

Avec quelle résistance terminale le signal se présente-t-il le mieux ?

