

SAV

Applications et traitements audio

Romuald Mosqueron

Octobre 2017



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD
/ REDS), 2017

1

Formats

Pour l'analogique, pas de problème => signal continu.

Par contre pour le numérique: Aïe, Aïe, Aïe

- 1) Echantillonnage
- 2) Quantification
- 3) Codage

C'est l'enfer des formats numérique

EIAJ, AES/EBU, S/PDIF, SDIF 2, MEL 2, DASH, ProDigi, DCC, Mini Disc, Compact Disc.

Vous êtes pris de vertige ?

Normal. Mais aussi : 32 kHz, 44,1 kHz, 48 kHz, 16 bits, 18 bits, 20 bits, 24 bits.

Et même les supports

Les cassettes : PCM-1630, DAT, format Yamaha, Akai...

Tout ceci fait que la technique audionumérique n'est pas simple à utiliser.

De plus, c'est plus précis et demande plus d'attention : la poussière est plus dangereuse.

Par ailleurs, qui peut garantir qu'aujourd'hui la durée de vie des enregistrements audio numériques ? Cinq ans, dix ans, quinze ans, vingt ans, cent ans... ?

On peut généralement relire une bande analogique même abîmée.

En revanche, une bande numérique un peu détériorée, dans les mêmes conditions, risque fort de montrer une absence de signal (ce que l'on appelle un drop).

Tout ceci fait que la technique audionumérique n'est pas simple à utiliser.

De plus, c'est plus précis et demande plus d'attention : la poussière est plus dangereuse.

Par ailleurs, qui peut garantir qu'aujourd'hui la durée de vie des enregistrements audio numériques ? Cinq ans, dix ans, quinze ans, vingt ans, cent ans... ?

On peut généralement relire une bande analogique même abîmée.

En revanche, une bande numérique un peu détériorée, dans les mêmes conditions, risque fort de montrer une absence de signal (ce que l'on appelle un drop).

- Nombre de canaux sonores codés : mono, stéréo, multicanaux.
- Fréquence d'échantillonnage
- Résolution de chaque échantillon en bits.
- Débit numérique : taille du fichier par rapport à la durée du son.
- Compression de données ou réduction de débit par rapport à un fichier brut.
 - avec reconstitution de la forme d'onde initiale (codage de l'entropie),
 - avec reconstitution (plus ou moins précise) de l'impression sonore (codage psychoacoustique).
- Puissance de calcul nécessaire au codage et/ou au décodage.
- Structure

Les codecs peuvent utiliser deux stratégies, avec leurs avantages et inconvénients respectifs:

- « Constant bit rate » ou CBR : Le « débit binaire fixe » donne à chaque trame du fichier, correspondant à une durée élémentaire, la même taille.
- « Variable bit rate » ou VBR : Le « débit binaire variable » adapte la compression à chaque passage du fichier, pour obtenir une qualité homogène.

Utilisation des formats

- De production quand le signal peut être restitué après décodage identique à ce qu'il était avant le codage en dehors des métadonnées encapsulées (« embedded »).
- De diffusion quand le codage vise à restituer l'impression sonore, sans garantir la restitution du signal à l'identique, en général au bénéfice d'une réduction du débit des données, ce qui rend incertaine la qualité d'un traitement ultérieur.

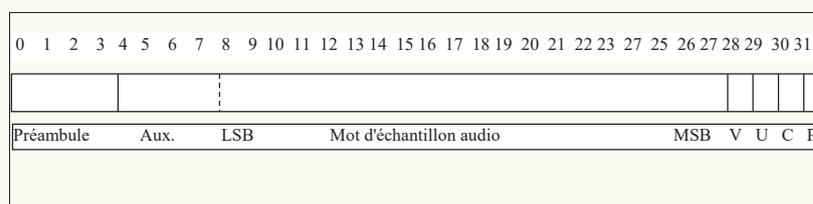
Le codage PCM est la représentation d'un nombre binaire par suite d'impulsions selon un code, ensemble de règles bien définies. La modulation prend donc la forme d'un train d'impulsions, définies par des niveaux haut et bas. Les transitions, c'est-à-dire les changements de niveaux, enclenchements (de bas à haut) et déclenchement (de haut à bas), surviennent au codage en des instants repérés par une horloge de synchronisme de fréquence et de période.

En audionumériques, les codes doivent

- permettre l'auto-synchronisation, c'est-à-dire la possibilité d'établir ou de retrouver au seul moyen du code reçu ou lu, la fréquence de synchronisme ;
- valoriser au mieux les possibilités de stockage du support d'enregistrement ;
- autoriser en lecture une grande tolérance sur la position temporelle des flancs des impulsions en lecture du code ;
- conduire à un spectre du train d'impulsion que l'on puisse borner vers le haut à une valeur fixée par le support d'enregistrement et les têtes d'enregistrement et de lecture ;
- conduire à un spectre borné vers le bas à une valeur convenable.

Transmission série normalisée entre appareils

La transmission en deux voies de signaux audio (stéréophonie) est prévue sur une paire torsadée blindée en mode symétrique (version professionnelle), sur un câble blindé asymétrique (version grand public) ou sur une fibre optique avec un code BM. Pour cela, on forme pour chaque échantillon quantifié d'une voie audio, une demi-trame de 32 bits.



Transmission série normalisée entre appareils

En tête se trouve un code de synchronisation indiquant le début de la demi-trame. Il indique aussi le début d'une trame, constituée de deux demi-frames correspondant aux échantillons simultanés des deux voies disposés dans un ordre donné.

Un champ de 24 chiffres est ensuite réservé aux échantillons audio, dont les 4 premiers peuvent être utilisés pour des informations auxiliaires.

Les 4 derniers bits sont réservés d'une part au contrôle de validité et de parité de la demi-trame et, d'autre part, à la formation de blocs d'informations auxiliaires.

Transmission série normalisée entre appareils

Pour chaque voie de modulation, un bloc est construit en prélevant les chiffres 30 et 31 de chaque demi-trame concernée pendant 192 trames consécutives, à partir d'une trame repérée par un code de synchronisation spécial. Les blocs contiennent des informations telles que applications professionnelles ou grand public, préaccentuation des fréquences élevées, fréquence d'échantillonnage, transmission stéréophonique, etc.

La norme décrit une interface série, unidirectionnelle, auto-synchronisante, pour l'interconnection des appareils audionumériques grand public et professionnels.

AES/EBU

Lorsqu'elle est utilisée dans le domaine numérique professionnel (radiodiffusion, studios d'enregistrement, ...), cette interface est principalement destinée à acheminer des programmes monophoniques ou stéréophoniques, avec une fréquence d'échantillonnage de 48 kHz et une résolution allant jusqu'à 24 bits par échantillon; elle peut être aussi utilisée pour acheminer un ou deux signaux échantillonnés à 32 kHz. Elle porte alors le nom de AES-EBU.

Lorsqu'elle est utilisée dans le domaine numérique grand public, cette interface est principalement destinée à acheminer des programmes stéréophoniques, avec une résolution allant jusqu'à 20 bits par échantillon. Une extension à 24 bits est possible. Elle porte alors le nom de S/PDIF.

Dans les deux cas, les références d'horloge et des informations auxiliaires sont transmises avec le programme. On a également prévu des dispositions pour acheminer des données relatives aux logiciels d'ordinateur.

I2S, également appelé Inter-IC Sound, Integrated Interchip Sound, ou IIS, Principalement utilisé pour transporter des informations PCM entre le CD et le DAC dans un lecteur de CD.

Le bus est composé d'au moins trois lignes :

- Un signal d'horloge 'bit'
- Un Signal d'horloge 'Word' (également appelée 'word select line' ou horloge gauche droite)
- Au moins une ligne de données multiplexée

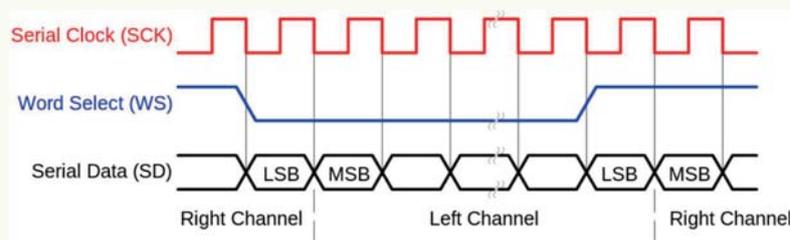
Option

- Master clock (typiquement 4 x l'horloge 'bit' ou 256 x la fréquence d'échantillonnage du signal analogique)
- Une ligne de données multiplexé pour l'upload

DATA : Ce sont les données numériques gauche et droite contenant la musique. Sur certains schémas les DATA sont aussi dénommés SDI/SDO (Serial Data Input/Serial Data Output).

L'horloge LeftRightClock ou communément **Wordclock** : Masterclock : L'horloge maître indiquant à quelle fréquence principale le processeur DSP, un codec audio ou le DAC doit fonctionner.

Le BitClock/ShiftClock dérivé de la MCLK indique : C'est l'horloge série de synchronisation de base du signal.

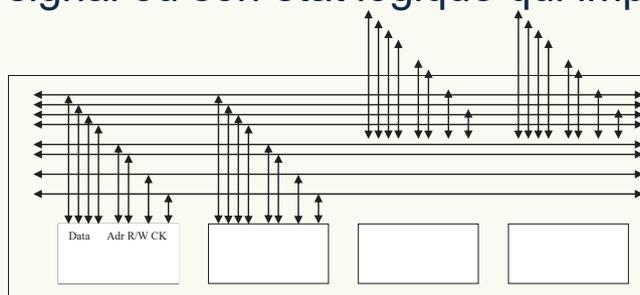


R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

19

Transmission

Dans le cas d'une transmission parallèle, tous les bits sont transmis simultanément. Un signal de contrôle indique le sens de la transmission (écriture = du maître vers l'esclave; lecture = de l'esclave vers le maître). Un signal de contrôle supplémentaire d'horloge (clock, strobe, ...) assure la synchronisation des données entre l'émetteur et le récepteur. Selon les cas, c'est le flanc de ce signal ou son état logique qui importe.



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

20

Les données sont transmises les unes après les autres dans un ordre qu'il faut préciser (d'abord le MSB ou d'abord le LSB).

Dans un tel cas, il faut :

- une liaison par laquelle vont transiter les données (SDATA = serial data)
- une horloge qui va rythmer le transfert des bits les uns après les autres (BCLK = bit clock)
- un signal de synchronisation qui indique le début de la transmission d'un nouveau mot binaire

Le signal de synchronisation peut être une impulsion ou un flanc.

On peut étendre ce principe et transmettre plus de deux signaux par la même liaison série. On parle alors de TDM à N canaux. Chaque canal est transmis dans un intervalle de temps appelé slot.

Lorsqu'on transmet moins de bits que ce que permet l'interface (par exemple 16 bits transmis dans une interface permettant l'échange de 24 bits), on parle de :

- "left-justified mode" si le premier bit transmis correspond au premier bit du mot à transmettre
- "right-justified mode" si le dernier bit transmis correspond au dernier bit du mot à transmettre



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

21

Les liaisons asymétriques (unbalanced) sont largement utilisées dans le domaine grand public parce que l'électronique nécessaire à leur mise en œuvre est plus simple et coûte moins cher que l'électronique nécessaire à l'élaboration de liaisons symétriques. En revanche, ce type de liaison est plus sensible aux perturbations extérieures (parasites, champs électromagnétiques) et n'est pas recommandé pour des distances longues. Dans ce mode de liaison, le signal électrique à véhiculer peut être transporté par un câble bifilaire standard (ligne téléphonique par exemple) ou par un câble blindé coaxial, qui possède deux conducteurs : un premier (âme) qui sert à véhiculer le signal électrique audio, et un second (masse), tressé autour du premier, qui joue le rôle de protection contre les parasites externes, mais aussi de référence et de "retour" pour le signal audio.



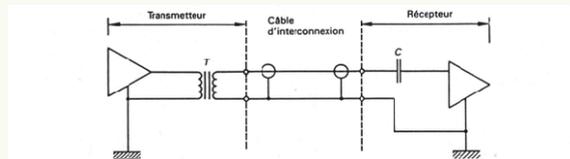
R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

22

Le câble d'interconnexion doit être blindé et avoir une impédance caractéristique de $75 \Omega \pm 5\%$ (pour une longueur de transmission supérieure à 10 m) ou de $75 \Omega \pm 35\%$ (pour une longueur de transmission inférieure à 10 m) pour le débit de données utilisé à la transmission. Ces débits peuvent être calculés en multipliant la fréquence d'échantillonnage à la source par 64, nombre de bits par trame.

L'émetteur doit avoir une sortie asymétrique et présenter une impédance interne de $75 \Omega \pm 20\%$, mesurée aux bornes de raccordement ligne dans la gamme de fréquences comprises entre 0,1 et 6 MHz.

L'amplitude du signal, mesurée aux bornes d'une résistance de 75Ω (1 %) branchée aux bornes de sortie, doit être de $0,5 \text{ V} \pm 20\%$ crête-à-crête en l'absence de câble de connexion.



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

23

Les liaisons symétriques sont plus complexes à mettre en oeuvre mais procurent un haut degré de protection contre les perturbations extérieures. Comme elles sont plus complexes et plus chères à élaborer, on les retrouve principalement dans le domaine professionnel, où le coût d'une installation est le plus souvent un critère secondaire (après celui de la qualité). Dans ce mode de liaison, le signal électrique à véhiculer est transporté simultanément sur deux fils A et B. Dans ce cas, le signal audio transitera entre ces deux conducteurs, le conducteur de masse jouant vraiment un rôle plus dédié, celui de protection contre les parasites, le signal audio ne devant plus y circuler en "retour" (enfin en temps normal).



Chacun de ces deux fils reçoit la même tension électrique mais en opposition de phase l'un par rapport à l'autre, et un troisième fil de masse sert de blindage. Si par rapport à la masse, le signal électrique augmente sur le fil A, il diminue sur le fil B. D'un point de vue électrique et mathématique, on peut écrire que $B = -A$.

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

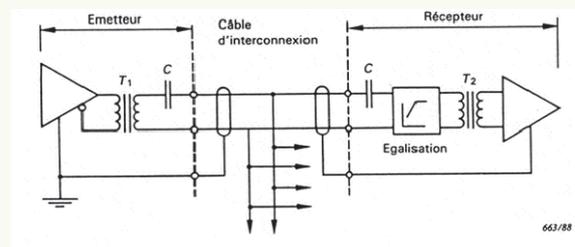
24

Transmission

Le câble d'interconnexion doit être blindé et avoir une impédance caractéristique de 90 à 120 Ω pour le débit utilisé pour la transmission des données. Ces débits peuvent être calculés en multipliant la fréquence d'échantillonnage à la source par 64, nombre de bits par trame.

La sortie de l'émetteur doit être symétrique, de 110 $\Omega \pm 20\%$ d'impédance mesurés aux bornes de raccordement de la ligne et dans la gamme de fréquences comprise entre 0,1 et 6 MHz.

L'amplitude du signal doit être comprise entre 3 V et 10V crête-à-crête mesurés aux bornes d'une résistance de 110 $\Omega \pm 1\%$ connectée aux bornes de sortie et en l'absence de câble.

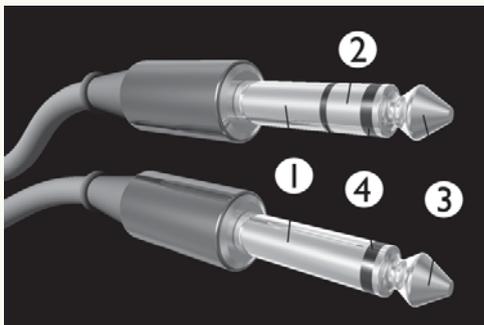


R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

Connectiques

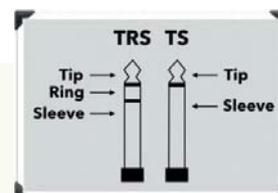
TRS: Tough rubber-sheathed cable et tip, ring, sleeve

L'invention du connecteur d'un quart de pouce (1/4"), le jack de 6,35 mm, remonte à 1877, et à la mise au point des premiers centraux téléphoniques par Tivadar Puskas.



Type	(1)	(2)	(3)
mono	masse	absent (ou alimentation)	signal
mono symétrique	masse	point froid	point chaud
stéréo	masse	canal droit	canal gauche
insert	masse	return/retour	send/envoyer

(4) Anneaux isolants



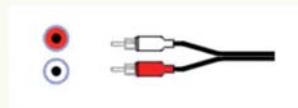
R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

Le connecteur RCA (Radio Corporation of America, CINCH) est un connecteur servant pour le transport de signaux audio ou vidéo.

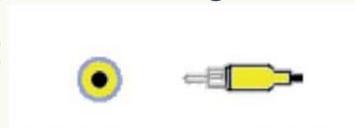
La prise RCA permet de faire transiter dans un câble composé de deux fils des signaux vidéo et audio (en mono ou stéréo), selon un mode de transmission analogique ou numérique.

Selon l'utilisation qui en est faite, la couleur du connecteur sera différente.

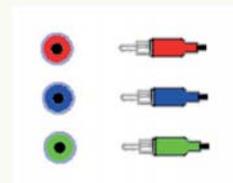
Pour la transmission de données audio analogiques stéréo, les connecteurs sont rouge et blanc :



Dans le cas d'un signal vidéo composite il s'agit d'un connecteur de couleur jaune :

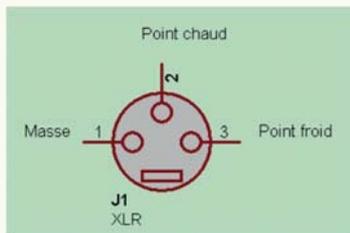


Dans le cas de la transmission de vidéo à composantes, appelée également YUV ou YCrCb. Pour ce type de signal vidéo, 3 connecteurs sont utilisés de couleurs rouge, verte et bleue :



La fiche XLR est caractérisée par une conception symétrique : 1 point chaud + 1 point froid + 1 blindage (masse).

Ces connecteurs sont universellement utilisés en audio professionnelle du fait de la sécurité qu'ils présentent : pas de risque de ronflette par bouclage de masse, blocage sûr de la prise, pas de risque de court-circuit (donc protection des amplis). Les fiches XLR sont aussi utilisées pour le transfert de données numériques audio (format AES/EBU).



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

29

La fibre optique a été choisie pour car elle est par principe insensible aux perturbations électromagnétiques, assurant ainsi une meilleure transmission du son. Elle peut être en plastique peu coûteux de 1 mm de diamètre, en multifibre de qualité supérieure, voire en fibres de verre. Le choix se fait selon le débit et l'application désirés.

Le signal lumineux transitant par la fibre est créé par une simple DEL rouge (et non un laser). L'information numérique est transmise sous forme simple : 1 = diode allumée, 0 = diode éteinte.

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

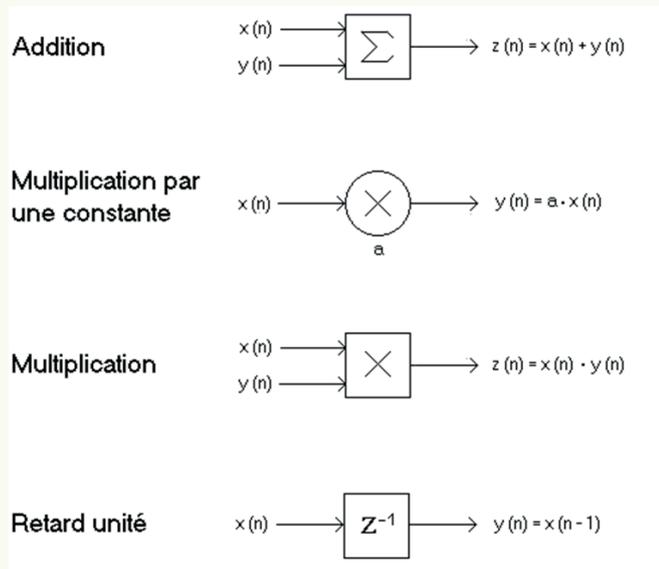
30

Cette partie sera traitée avec l'exposé de Nathalie Mégévand et Ludovic Richard

Opérations de base

En combinant ces trois opérations, on réalise des systèmes linéaires et invariants dans le temps ("LTI systems" = Linear and Time Invariant systems).

La multiplication de deux signaux numériques est également souvent utilisée, mais ce n'est pas une opération linéaire.



Format des donnees

Nombres binaires virgule fixe en complement a deux. Le MSB est le bit de signe. On precise ou est la virgule par une ecriture A.B

Exemple : 13.3 signifie 13 bits a gauche de la virgule et 3 bits apres la virgule.

0	000000000000.000
0,125	000000000000.001
0,5	000000000000.100
0,875	000000000000.111
1	000000000001.000
256	000010000000.000

Les formats N.0 sont ceux des nombres entiers.

Les formats 0.M sont ceux des nombres decimaux, inferieurs a 1.

Addition

Il faut aligner les nombres sur la virgule.

Les reports font que le format de la somme est plus grand.

Addition de deux nombres : 1 bit de plus.

Addition de quatre nombre. 2 bits de plus

Addition de huit nombre. 3 bits de plus, etc.

Multiplication par une constante

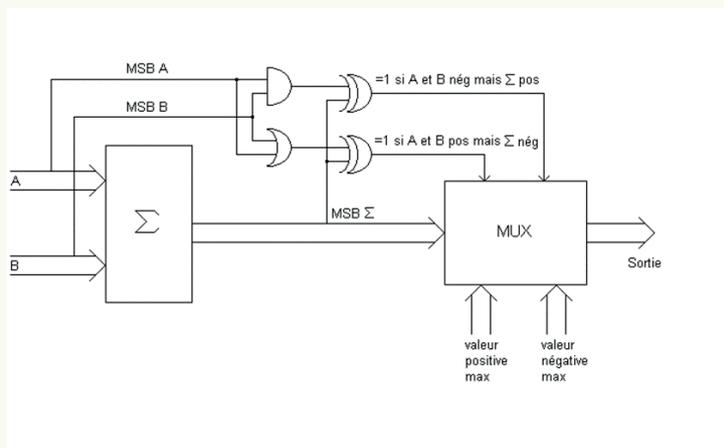
Il faut aligner les nombres sur la virgule.

Soit le produit d'un nombre en format A.B par un autre au format C.D. Le format du produit sera (A+C).(B+D).

Exemple : 3 (au format 3.2) fois 4,5 (au format 3.3) egale 15,5 (au format 6.5)

$$011.00 \times 100.100 = 001111.10000$$

Sommateur avec detection de depassement



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

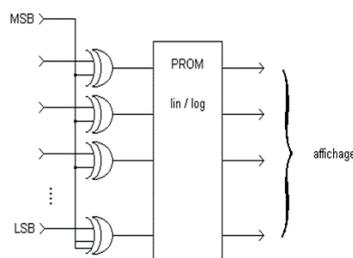
35

Systemes audionumeriques

Indicateur de niveau

En analogique: volume Unit (VU) meter ou peak program meter (PPM). Il faut un redresseur du signal à 2 alternances.

En numerique; il faut « redresser » des nombres en compléments à 2. Dans la pratique, on inverse simplement les bits si le MSB = 1; on commet une petite erreur (de 1 LSB).



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

36

Mixer

La fréquence d'échantillonnage des différentes entrées doit être exactement la même ; les divers signaux doivent être en phase. Si ce n'est pas le cas, il faut prévoir un convertisseur de fréquence d'échantillonnage et/ou un circuit de synchronisation.

Il faut veiller au format des nombres du système. Si un échantillon est atténué, son format devient plus grand : des bits supplémentaires sont nécessaires.

Exemple : signal atténué de 12 dB (x 1/4)

Systemes audionumeriques

Un nombre de 16 bits devient un nombre de 18 bits !

Ainsi, même si le format des signaux d'entrée et de sortie est de 16 bits, les calculs internes doivent être faits avec, par exemple, 24 bits.

Dans la réalité, un mélangeur (mixer) numérique n'a pas un multiplicateur pour chaque entrée; le multiplicateur est partagé dans le temps et utilisé conjointement avec un accumulateur (registre qui mémorise le résultat précédent).

Exemple avec 4 entrées :

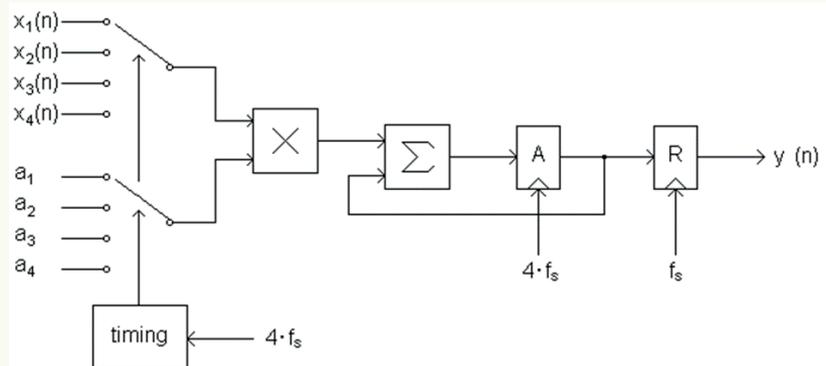
$$y(n) = a_1 x_1(n) + a_2 x_2(n) + a_3 x_3(n) + a_4 x_4(n)$$

$$y_1(n) = a_1 \cdot x_1(n)$$

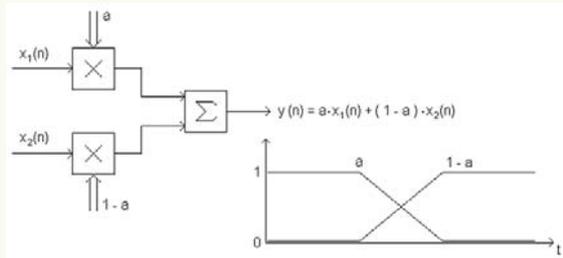
$$y_2(n) = y_1(n) + a_2 x_2(n)$$

$$y_3(n) = y_2(n) + a_3 x_3(n)$$

$$y_4(n) = y_3(n) + a_4 x_4(n)$$

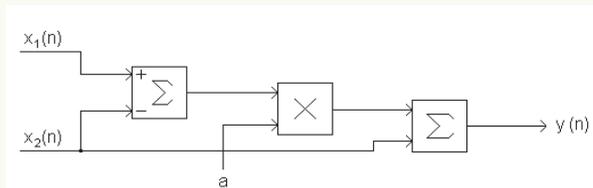


Fondu-enchaine (crossfading)



$$y(n) = a \cdot X_1(n) + X_2(n) - a \cdot X_2(n)$$

$$= a \cdot [X_1(n) - X_2(n)] + X_2(n)$$



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

39

Attention à :

- l'arrondi
- Synchronisation
- Conversion de fréquence

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

40

Les filtres classiques en analogiques peuvent être réalisés en numérique avec des filtres:

- RII
- RIF

Parmi ces filtres:

- Passe bas
- Passe haut
- Passe bande
- Etc...

Filtres « multirate »

Filtres multirate

Dans de nombreux systèmes, il y a plusieurs fréquences d'échantillonnage qui cohabitent. Cela permet de diminuer la complexité des calculs, diminuer le débit de transmission et diminuer la quantité de données à mémoriser.

Sur et sous échantillonneurs

Dans ces filtres, en plus des sommateurs, multiplicateurs par une constante et retards, il y a :

- des sous-échantillonneurs par M (M-fold decimator, downsampler, subsampler, sampling rate compressor) : $y_D(n) = x(M \cdot n)$. Ils sortent 1 échantillon sur M.
- des sur-échantillonneurs par L (L-fold expander, upsampler, sampling rate expander) : $y_E(n) = x(n/L)$ si n est un multiple entier de L ; $y_E(n) = 0$ autrement. Ils insèrent des zéros.

Un banc de filtres consiste en plusieurs filtres travaillant en parallèle. Lorsqu'ils ont une entrée commune, on parle de banc de filtre d'analyse. Lorsqu'ils ont une sortie commune, on parle de banc de filtre de synthèse.



Un banc de filtre est caractérisé par la façon de répartir les courbes de réponse individuelles sur l'axe des fréquences.

Un banc de filtre est caractérisé par la façon de répartir les courbes de réponse individuelles sur l'axe des fréquences.

Dans la pratique, on utilise les trois types de répartition suivants :

- répartition uniforme avec léger chevauchement.
- répartition uniforme sans chevauchement.
- répartition non uniforme, généralement suivant une échelle logarithmique (cas des filtres d'octave et de tiers d'octave).



1. Découper une tranche de signal temporel. Fenêtrage.
2. Calculer son spectre (contenu fréquentiel). FFT.
3. Multiplier son spectre par la fonction de transfert du filtre.
4. Revenir dans le domaine temporel. IFFT.

Effets Retard

Soit une ligne à retard. Le retard est forcément un multiple entier de la période d'échantillonnage.

$$T_{\text{retard}} = N \cdot T_e$$

Considérons un signal sinusoïdal appliqué à l'entrée du retard :

$$x(n) = \sin(2 \pi n F)$$

A la sortie de la ligne de retard, le signal sinusoïdal est retardé, ce qui correspond à un signal sinusoïdal déphasé :

$$y(n) = \sin(2 \pi (n - N) F) = \sin(2 \pi n F - 2 \pi N F)$$

Le déphasage vaut donc :

$$\varphi = - 2 \pi N F$$

Le déphasage est une fonction linéaire de la fréquence relative F .

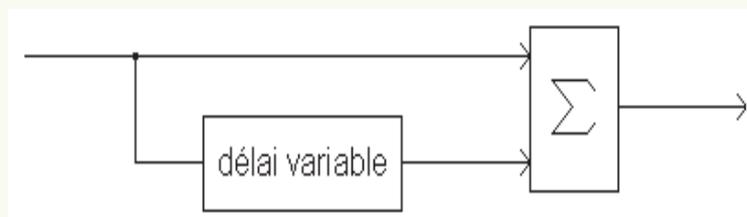
Effets Retard variable

Changer N. Le retard est alors variable par pas.

Faire une interpolation entre le signal à la sortie du retard N et du retard (N + 1) permet d'affiner le pas.

Le retard variable est utilisés dans les effets suivants.

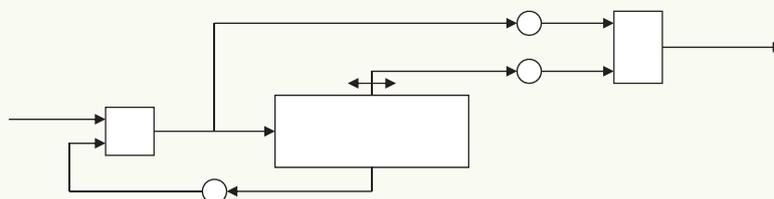
- Phasing
- Flanging
- Chorus



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

Effets Retard variable

En combinant un retard fixe avec un retard variable, on peut obtenir un schéma universel permettant de réaliser divers effets, dépendants de la valeur numérique des coefficients.



Effet	Mélange	En avant	En arrière
Vibrato	0	1	0
Flanger	0.707	0.707	- 0.707
Chorus ind st	1	0.707	0
Chorus blanc	0.707	1	0.707
Doubling	0.707	0.707	0
Echo	1	inf ou égal à 1	inf à 1

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

Effets Echo/Réverbération

Pour simuler des salles d'écoute de différentes formes et volume.

Réverbérateur idéal : filtre FIR dont les coefficients sont égaux à la réponse impulsionnelle de la salle à simuler : 88'000 retards pour 2s. !

Réalisation pratique : approximer la réponse impulsionnelle par des filtres passe-tout, des filtres en peigne et des algorithmes récursifs.

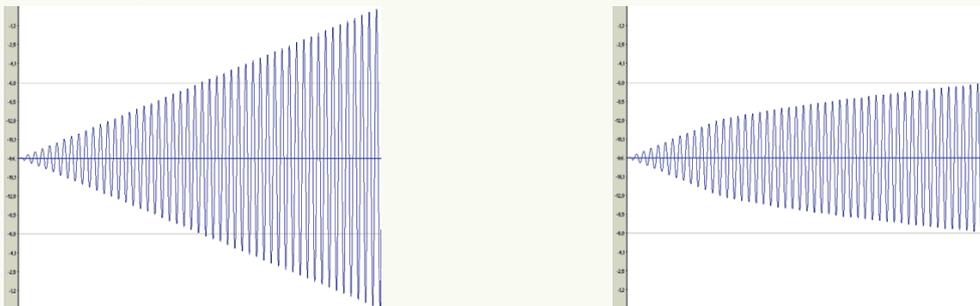
Réflexions multiples. Plusieurs retards.

Effet des parois. Filtrage.

Sommer ou soustraire le signal direct avec le signal retardé. Les retards sont de l'ordre de quelques centaines de ms.

Compresseur de dynamique

la compression est un outil qui abaisse la dynamique d'un son en effectuant un aplatissement des crêtes dépassant un certain seuil.



Imaginez un ingénieur du son qui écoute les musiciens jouer ; quand il entend que le son dépasse un certain niveau, il baisse le fader de volume en conséquence ; quand le volume des instruments diminue, l'ingénieur du son remonte le fader de volume. Cela peut sembler être de la science fiction, ou bien une façon imagée d'expliquer le rôle d'un compresseur. En fait, il s'agit de la façon de procéder des ingénieurs du son avant l'apparition des compresseurs ! Le compresseur automatise donc ce traitement.

Expandeur de dynamique

C'est utilisé assez souvent dans certains cas comme par exemple avec la technologie Dolby. En effet, dans certaines situations, il est nécessaire de passer par un canal de transmission à fort bruit de fond (par exemple, les ondes hertziennes, ou la bande d'un cassette analogique). Dans ce cas, il est intéressant d'augmenter le niveau global du son avant que celui-ci soit transmis au travers de ce canal, puisqu'alors, le niveau du signal utile sera bien supérieur au niveau du bruit de fond intrinsèque au canal de transmission. Une fois le son arrivé à la destination (le préampli de votre lecteur de cassettes), le son peut subir à nouveau une extension pour retrouver sa forme originale. De part cette extension de dynamique, le bruit de fond qui s'était ajouté lors de la transmission du son au travers du canal voit son niveau abaissé. Il s'entend donc moins que si l'on n'avait pas utilisé ce système.

Distorsion

La distorsion désigne l'ensemble des modifications indésirables d'un signal qui ne soient ni un gain, ni une atténuation, ni un retard.

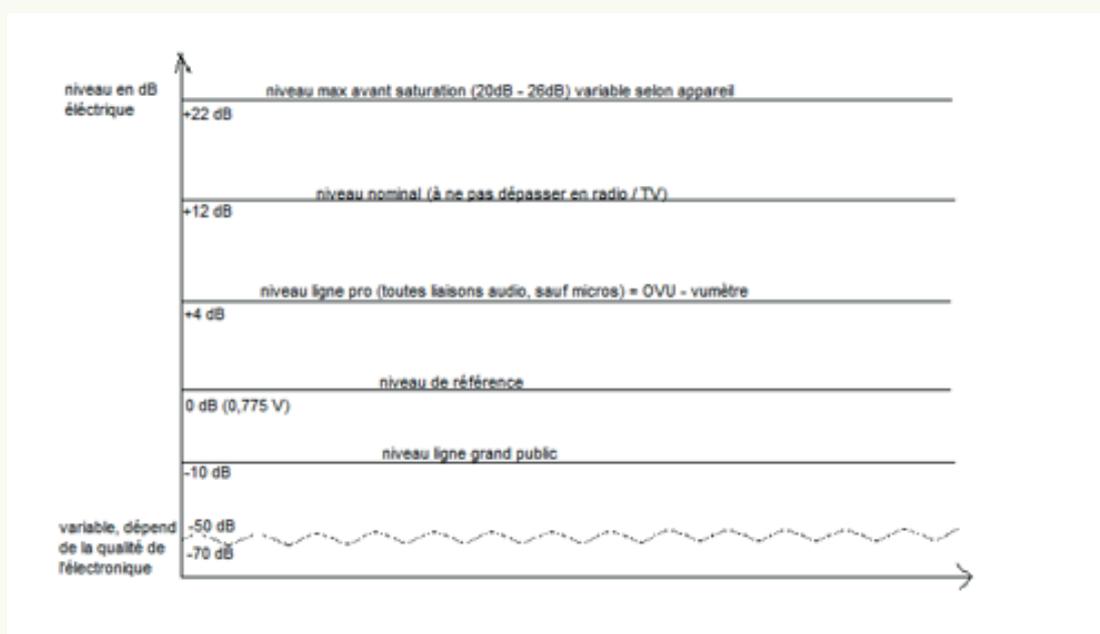
Une certaine altération du signal est inévitable ; on cherche à transmettre celui-ci avec le plus d'exactitude possible.

Cependant, alors que la plupart des techniciens cherchent à réduire les déformations du signal, d'autres, notamment les musiciens et leurs fabricants d'instruments, les cultivent et en font un élément constitutif de leur son. C'est le cas par exemple des amplificateurs pour guitare électrique⁴. Pour varier les effets musicaux, certains fabricants d'amplificateurs les munissent d'un réglage d'overdrive, et on trouve des pédales d'effet nommées distorsion, fuzz ou saturation. Ces appareils déforment en effet le signal, mais comme ils le font volontairement, il ne s'agit pas de distorsion au sens propre du terme.

Line level vs mic level

- Niveau ligne pro : Un niveau ligne est par définition le niveau sortant de tout appareil audio sauf des micros. Le niveau ligne pro moyen est de +4dBu. On utilise pour les liaisons lignes des connecteurs symétriques (jacks TRS ou XLR) . Il doit y avoir une marge d'au moins 18dB entre le niveau ligne et le niveau max avant saturation.
- Niveau ligne grand public (ou Hi-Fi) : Il est à -10dBu sur connectique asymétrique (plus sensible au bruit de fond, cf futur article) type jacks mono ou RCA (cinch)
- Niveau micro : Il dépend bien sûr du type de micro utilisé (plus ou moins sensible) et du volume sonore de la source enregistrée. Il est en général assez faible (de quelques millivolts à 1V environ) ce qui nécessite donc l'utilisation de pré-amplis pour le gonfler en amplitude et le rendre exploitable. On utilise toujours une connectique en XLR pour les micros dans le domaine professionnel.
- Niveau nominal : C'est le niveau à partir duquel on peut avoir une saturation. Il faut donc de manière générale essayer de travailler juste en dessous de ce niveau. Il peut être de +12dBu, +18dBu voire +24dBu selon les machines utilisées.
- Niveau de bruit : variable selon la qualité des appareils utilisés entre -50dBu et -70dBu.

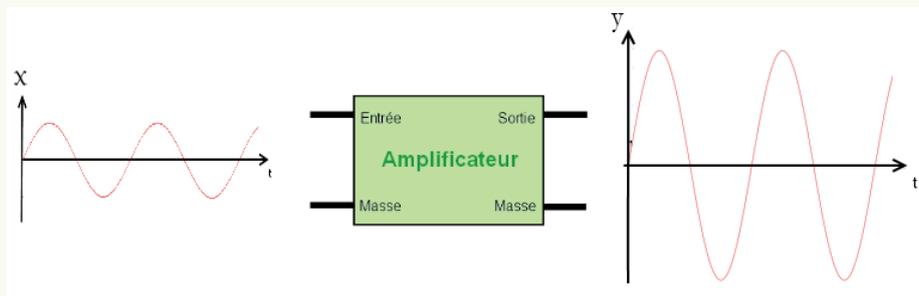
Line level vs mic level



un amplificateur est en général un appareil électrique qui amplifie le son.

En entrée de l'amplificateur, on a un signal $x(t)$. Ce signal passe à travers l'amplificateur et ressort de ce dernier comme étant un nouveau signal $y(t)$, identique au signal $x(t)$, à l'exception que son amplitude est augmentée et sa puissance également.

Pour un signal entrant nommé $x(t)$, le signal en sortie de l'amplificateur $y(t)$ est tel que : $y(t)=a.x(t)$; a étant le facteur d'amplification.



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

55

Un amplificateur, étant donné qu'il amplifie, ne doit pas absorber une grande puissance sur son entrée. Un signal n'a pas forcément une puissance énorme, il ne fournit pas une puissance suffisante pour que l'amplificateur, s'il absorbait beaucoup de puissance à son entrée, puisse amplifier le signal. De même, en sortie de l'amplificateur, la puissance à fournir est souvent importante. De cela, l'amplificateur doit donc pouvoir fournir une puissance importante. D'où l'intérêt de l'amplification.

En somme, on peut modéliser un amplificateur comme ayant une impédance d'entrée très grande et une impédance de sortie très faible.

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

56

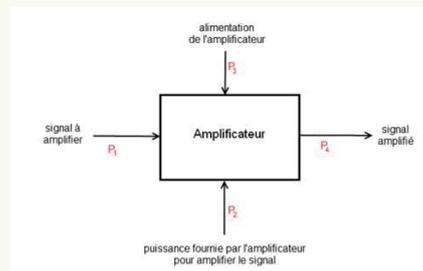
Appareils: amplificateur

La puissance du signal d'entrée P_1 est faible et l'impédance d'entrée de l'amplificateur est grande. Négligeable

La puissance fournie par l'amplificateur pour amplifier le signal, P_2 , est loin d'être négligeable. Au contraire, c'est celle qui nous intéresse car elle va influencer la puissance du signal de sortie. Elle est extraite de l'alimentation de l'amplificateur. Or, comme l'amplificateur réel possède des pertes d'énergies, cette puissance $P_3 > P_2$.

Le signal de sortie a une puissance P_4 très grande.

$$P_4 = P_1 + P_2 \approx P_2$$



Appareils: amplificateur

Le premier amplificateur électronique fut réalisé en 1906 par l'inventeur américain Lee De Forest. En 1908, il perfectionna son invention en lui rajoutant une électrode, donnant ainsi naissance à la première triode. Elle fut vite perfectionnée par l'ajout de deux grilles supplémentaires, palliant certains effets indésirables. Ce tube pentode sera rapidement adopté pour la plupart des amplificateurs à tubes, pour son meilleur rendement.

Les amplificateurs à tubes sont aussi connus sous le nom d'amplificateurs à « lampes », en raison de la forme des tubes et de la lumière qu'ils émettent lorsqu'ils fonctionnent.



Appareils: amplificateur

Depuis le début des années 1960, grâce à l'apparition des premiers transistors de puissance vraiment sûrs et au coût réduit, la majorité des amplificateurs utilise des transistors. On préfère les transistors aux tubes dans la majorité des cas car ils sont plus robustes, fonctionnent à des tensions plus faibles et sont immédiatement opérationnels une fois mis sous tension (contrairement aux tubes électroniques qui nécessitent une dizaine de secondes de chauffage).

Les tubes sont toujours utilisés dans des applications spécifiques comme les amplificateurs audio, surtout ceux destinés aux guitares électriques, et les applications de « très » forte puissance ou à haute fréquence comme pour les fours à micro-ondes, le chauffage par radiofréquence industriel, et l'amplification de puissance pour les émetteurs de radio et de télévision.

Enceintes

On désigne souvent une enceinte par le terme anglais de baffle. Cette appellation est une métonymie (la partie pour le tout) puisque le baffle désigne en réalité le support plan, plaque généralement en bois voire en plastique, sur lequel est fixé le haut-parleur, et non l'enceinte dans sa totalité. Le baffle permet d'éviter que les ondes sonores émises par l'arrière du haut-parleur ne viennent interférer, voire annuler, les ondes sonores émises par l'avant du haut-parleur. Lorsqu'il est refermé sur lui-même en encerclant un certain volume d'air, il forme une enceinte.

Une enceinte contient en général non seulement le ou les haut-parleurs, mais aussi les éventuels filtres, modules d'amplification, boutons de mise sous tension ou de réglage, grilles de protections, ou encore des événements pour le cas d'une enceinte bass-reflex. Enfin, elle est équipée de connecteurs destinés à brancher un amplificateur ou autre source de modulation contenant l'information sonore à diffuser.

MP3: 18 à 32 Ohms recommandés donne les meilleurs résultats avec ce type d'appareil.

PC: entre 20 et 80 Ohms

Mixage, ampli: 44 à 250 Ohms. Plongez dans le manuel de votre matériel et trouvez l'impédance de sortie.

HiFi: Haute Impédance. De 100 à plusieurs centaines de Ohms et pour faire le bon choix, il faudra mettre le nez dans le manuel des appareils sources. Dans le cas d'un studio d'enregistrement, notez que plus vous chaîne de casque sur une même source, plus l'impédance est divisée.

L'impédance nominale d'une enceinte est celle mesurée à 1 kHz. L'impédance basse est la valeur la plus faible de la courbe d'impédance, mesurée du grave à l'aigu, de 20 Hz à 20 kHz.

C'est la résistance qu'oppose l'enceinte au passage du courant en fonction des fréquences. Elle s'exprime par une courbe en ohms par rapport aux fréquences. L'impédance nominale d'une enceinte est définie par le point le plus bas de cette courbe dans la partie comportant généralement le plus de niveau (200 à 2 000 Hz). On accepte que la courbe puisse descendre ponctuellement à 10% en moins de sa valeur nominale. Depuis l'avènement du haut-parleur, les impédances normalisées ont été : 2,5, 4, 6, 8 et 15 ohms. Aujourd'hui, depuis l'avènement de l'amplificateur à semi-conducteurs, on a limité les impédances à 4 ou 8 ohms.

Il faut bien comprendre que l'impédance de l'enceinte déterminera le courant nécessaire pour développer une certaine puissance. Ainsi, pour obtenir une puissance de 100W, il faudra 5A sous 4 ohms et 3,53A sous 8 ohms. Par là même la tension nécessaire pour obtenir cette même puissance devra être de 20V sous 4 ohms et de 28,24V sous 8 ohms. Un amplificateur moderne à semi-conducteurs qui délivre une tension de sortie proportionnelle au niveau du potentiomètre de volume délivrera plus de puissance dans une enceinte de 4 ohms pour la même position du potentiomètre. Cela ne voudra pas dire que sa puissance maximum sera augmentée, car bien souvent il atteindra son niveau de saturation plus vite, celle-ci étant liée à la puissance du transformateur d'alimentation. Simplement, notre amplificateur risque d'être limité en courant dans le cas d'une charge de 4 ohms et en tension dans le cas d'une charge de 8 ohms. Il faut aussi remarquer que la charge de 4 ohms sera plus "éprouvante" pour l'amplificateur dont les refroidisseurs et les transistors de puissance sont généralement optimisés à la limite des besoins en intensité, en raison des coûts.

Une source sonore est composée d'une multitude d'ondes sonores réparties sur un large spectre de fréquences audio. L'être humain adulte perçoit ainsi, de 20 Hz à 20 kHz. Il est possible de distinguer et isoler certaines bandes de fréquences afin de leur appliquer un traitement spécifique. En agissant sur une plus ou moins large gamme de fréquences : son graves, médium, aigus, la correction permet d'atténuer ou au contraire de renforcer le timbre du son. À la différence des correcteurs les plus souvent rencontrés sur les amplificateurs Hifi, autoradios, téléviseurs, etc., les égaliseurs interviennent sur des bandes précises et sont généralement plus performants, en particulier pour renforcer certaines fréquences sans trop générer de nuisances (souffle, bruit de fond, saturation, distorsion...). Les égaliseurs professionnels les plus perfectionnés peuvent isoler et traiter des bandes de fréquences très étroites, ce qui permet par exemple, d'atténuer ou au contraire de renforcer la "présence" d'un instrument de musique, d'une voix, de bruits, de souffle, de vibrations, etc.

Un microphone (souvent appelé micro par apocope) est un transducteur électroacoustique, c'est-à-dire un appareil capable de convertir un signal acoustique en signal électrique.

L'usage de microphones est aujourd'hui largement répandu et concourt à de nombreuses applications pratiques :

- télécommunications
- sonorisation ;
- radiodiffusion et télévision ;
- enregistrement sonore notamment musical ;
- mesure acoustique.

On appelle également micro, par métonymie, les transducteurs électromagnétiques de guitare électrique et les transducteurs piézoélectriques utilisés pour des instruments dont le son est destiné à être amplifié.

Phonographe

Avant: En 1807, le physicien anglais Thomas Young met au point un dispositif permettant d'enregistrer les vibrations d'un corps sonore sur un cylindre.

En 1857, Léon Scott de Martinville perfectionne ce procédé d'enregistrement sonore. Il invente le phonautographe, un appareil constitué d'une membrane vibrante, placée au bout d'un tube acoustique qui transmet les vibrations sonores à un stylet. Le stylet grave les vibrations sur un cylindre enduit de noir de fumée. Cependant, cette invention ne permet pas de relire les courbes ainsi gravées.



Phonographe

En avril 1877, Charles Cros imagine un appareil de reproduction des sons qu'il nomme paléophone.

Il a l'idée que l'on peut graver les vibrations sonores sur un disque métallique et reproduire ensuite le son initial en faisant glisser un stylet rattaché à une membrane sur cette gravure.

Mais, le 19 décembre de la même année, l'inventeur américain Thomas Edison dépose le brevet du phonographe, avant que Charles Cros ait la possibilité de construire un prototype.

Son invention permet d'enregistrer 2 minutes de sons grâce à un stylet qui grave les vibrations sur un cylindre d'étain. Une fois l'enregistrement terminé, les gravures sont lues par le stylet et transformées en sons par un diaphragme.



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

Phonographe

En 1880, l'inventeur du Téléphone Graham Bell s'associe avec Chichester et Charles Tainter pour améliorer le concept du phonographe.

Ils rebaptisent l'appareil Graphophone et lui apportent des améliorations.

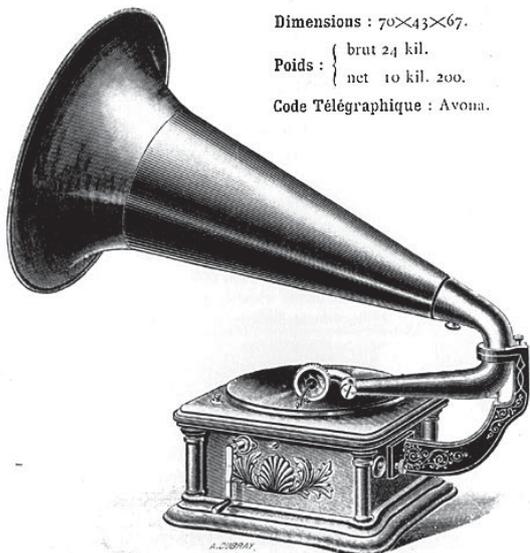
Pour améliorer la qualité du son, ils utilisent un rouleau de carton enduit de cire (à la place de l'étain) et une pointe de saphir inusable qui abîme moins le sillon.

Vers 1887, l'Allemand Emile Berliner met au point le disque plat qu'il appelle "phonogravure" et fonde la firme GRAMOPHONE.

Les gramophones, qui étaient une évolution des phonographes, en ont pris le nom par la suite. La différence entre ces deux types d'appareils reposait sur le support d'enregistrement : cylindre pour les phonographes, disque pour les gramophones.

- 8 -

GRAMOPHONE N° 9



Dimensions : 70×43×67.

Poids : $\left\{ \begin{array}{l} \text{brut 24 kil.} \\ \text{net 10 kil. 200.} \end{array} \right.$

Code Télégraphique : Avona.

Tout en réunissant les avantages du **Gramophone** N° 7, notre N° 9 lui est cependant supérieur sur plusieurs points.

Son grand avantage consiste dans le mécanisme ainsi que dans le ressort dont la puissance a été doublée, ce qui lui permet de jouer en moyenne, lorsqu'il est remonté à fond, 4 petits disques ou la quantité correspondante de disques "concert" ou "monarque".

On peut soulever le couvercle sur lequel est adapté le mécanisme, et se rendre compte de celui-ci.

Il est livré complet, prêt à fonctionner, muni d'un pavillon cuivre nickelé, grand modèle, et d'une boîte contenant 200 aiguilles spéciales pour le Gramophone.

Il sera toujours muni de notre nouveau dispositif, le bras acoustique conique B dont la description est faite page 13.

PRIX : 250 francs.

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

69

Sonotone

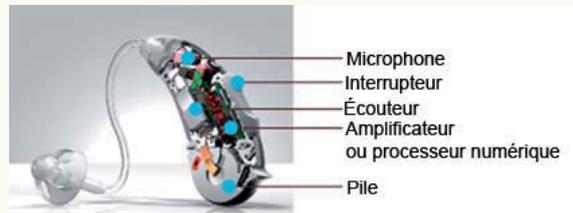
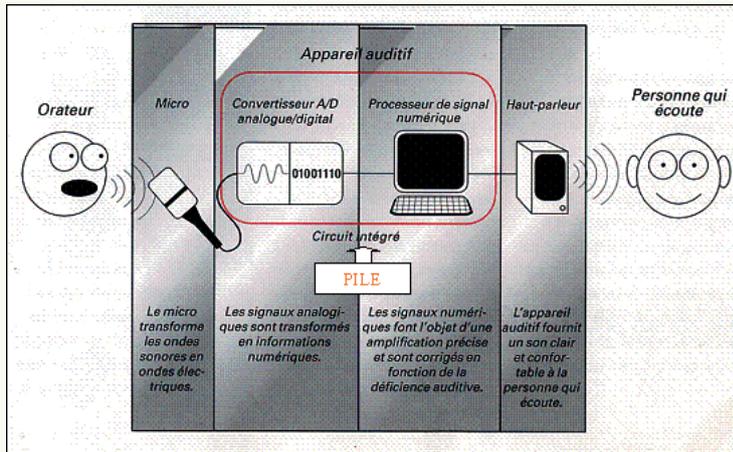
Appareil destiné à améliorer l'audition des malentendants, et qui se place près de l'oreille.

Les appareils auditifs externes sont des appareillages qui permettent d'amplifier le son qu'ils perçoivent. Placés au niveau des oreilles des patients, ces prothèses miniatures sont dotées d'un microphone qui enregistre les vibrations sonores, puis un amplificateur intègre et retransmet les sons à l'oreille à l'aide d'un haut-parleur. Ce type d'appareil, qui nécessite l'utilisation de l'ensemble du système auditif du patient, n'est donc utile que si la personne possède une audition fonctionnelle, mais amoindrie, comme les personnes âgées atteintes de presbycusie.

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

70

Sonotone



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

Radio

La liaison radio est possible grâce à un émetteur et à un récepteur qui sont tous deux reliés à une antenne. C'est un système de communication qui fonctionne en se basant sur la diffusion dans l'espace d'ondes électromagnétiques. Le physicien Marconi est le Père de la radio qui fit son apparition en 1896. Il s'agit d'un outil très utilisé pour la transmission soit d'une émission radio, soit d'une conversation, soit d'informations (au sein de l'armée par exemple).

R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

TLV320AIC32:

FEATURES

- Stereo Audio DAC
 - 100 dB A Signal-to-Noise Ratio
 - 16/20/24/32-Bit Data
 - Supports Rates From 8 kHz to 96 kHz
 - 3D/Bass/Treble/EQ/De-Emphasis Effects
- Stereo Audio ADC
 - 92 dB A Signal-to-Noise Ratio
 - Supports Rates From 8 kHz to 96 kHz
- Six Audio Input Pins
 - Six Stereo Single-Ended Inputs
- Six Audio Output Drivers
 - Stereo 8- Ω , 500 mw/Channel Speaker Drive Capability
 - Stereo Fully-Differential or Single-Ended Headphone Drivers
 - Fully Differential Stereo Line Outputs
- Low Power: 14-mW Stereo, 48-kHz Playback With 3.3-V Analog Supply
- Programmable Input/Output Analog Gains
- Automatic Gain Control (AGC) for Record
- Programmable Microphone Bias Level
- Programmable PLL for Flexible Clock Generation
- I²C Control Bus
- Audio Serial Data Bus Supports I²S, Left/Right-Justified, DSP, and TDM Modes
- Extensive Modular Power Control
- Power Supplies:
 - Analog: 2.7 V – 3.6 V
 - Digital Core: 1.65 V – 1.95 V
 - Digital I/O: 1.1 V – 3.6 V
- Available Packages: 5 × 5 mm, 32-Pin QFN

Porte voix? 1^{er} Système audio

