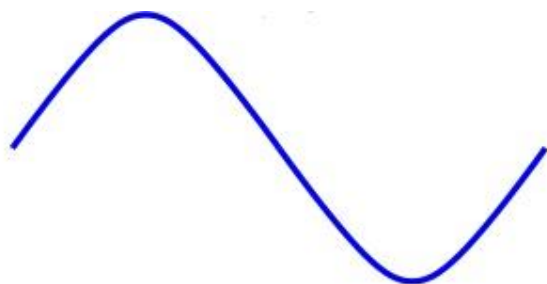
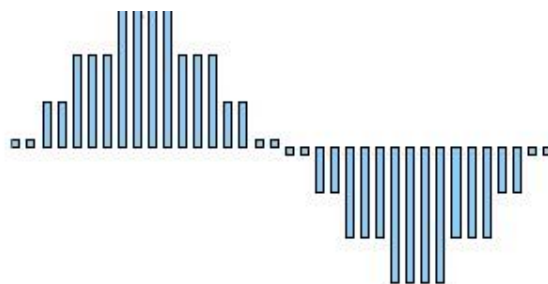
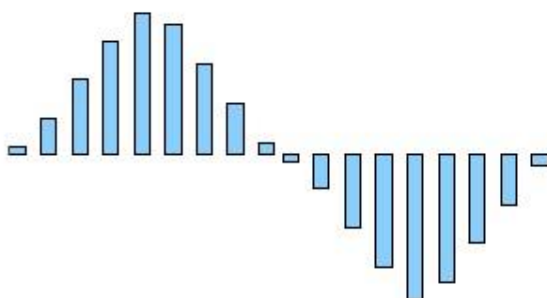
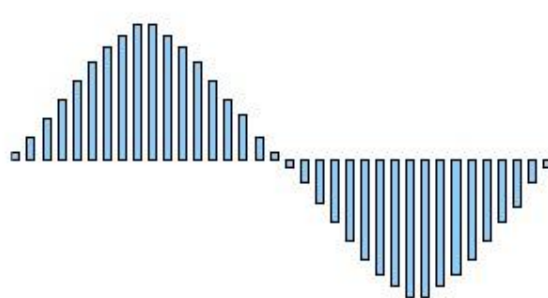


NUMERISATION DU SON



(a) Signal original

(b)
44100 échantillons/seconde à 8 bits(c)
22000 échantillons/seconde à 16 bits(d)
44100 échantillons/seconde à 16 bits

I.	Introduction. _____	2
II.	Conversion analogique du son. _____	3
III.	Discrétisation du signal. _____	3
IV.	Poids de l'Information sonore numérisée. _____	7
V.	traitement numérique du son. _____	8
VI.	Bilan Numérisation du Son : _____	8

➤ Matériel :

➤ Pré-requis pour prendre un bon départ :

	☹	☺	☺☺	☺☺☺
Puissances de 2.				
Codage binaire des nombres (décodage – encodage).				
Unités de quantité d'informations : ko, Mo, Go etc.				

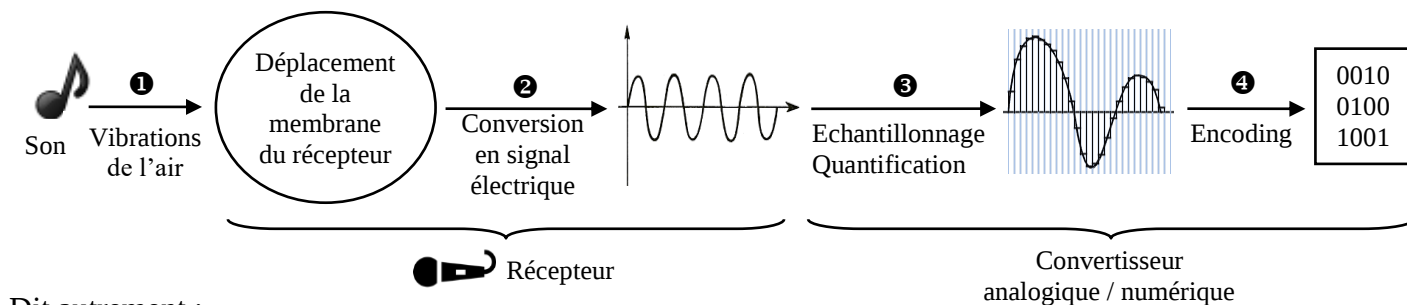
I. INTRODUCTION.

- Rentrons un peu plus dans le monde réel.

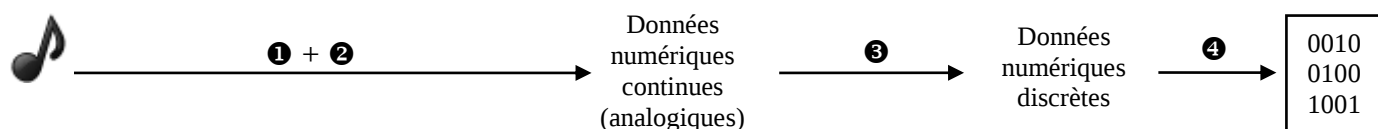
Après avoir numérisé les textes qui constituent l'univers abstrait du dicible, il s'agit maintenant de rendre exploitable par un ordinateur une sensation bien concrète : le son.

- Cela va se faire selon le schéma suivant : le son est une variation de la pression de l'air qui va déplacer la membrane d'un capteur (un micro par exemple) qui va traduire ces déplacements en variations de tension électrique qui vont être échantillonnées par un convertisseur analogique/numérique puis finalement être codée binairement. Ouf !

On comprend tout de suite mieux avec le schéma suivant :



Dit autrement :

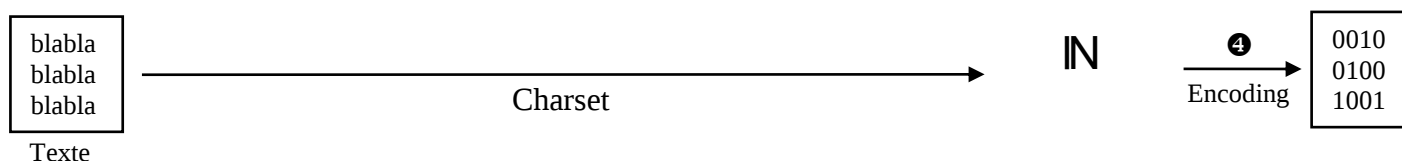


Et pour pousser encore plus loin le bouchon :



- On voit sur ces schémas que le son suit évidemment les mêmes principes de numérisation que le texte : transformation en données numériques d'abord puis encodage binaire.

Rappelons le schéma de numérisation du texte :



Quel est la grosse différence entre le schéma de numérisation du texte et celui du son ?

Autant la transformation du texte en données numériques discrètes (en une suite d'entiers quoi) est une discrétisation complètement *arbitraire* résultant de l'application d'un charset lui-même arbitraire, autant la discrétisation du son sera complètement déterminée par des formules physiques (❶ et ❷) et mathématiques (❸).

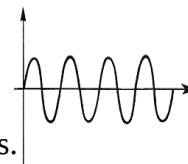
Voyons cela plus en détails.

II. CONVERSION ANALOGIQUE DU SON.

Il s'agit des étapes ❶ et ❷ dans notre schéma de conversion du son.

Grâce aux Sciences Physiques, le son est associé à une tension électrique qui varie avec le temps.

Plus précisément, grâce aux séries de Fourier, on peut se ramener à des fonctions sinusoïdales, qui mathématiquement sont dans le domaine numérique continu c-à-d analogique.

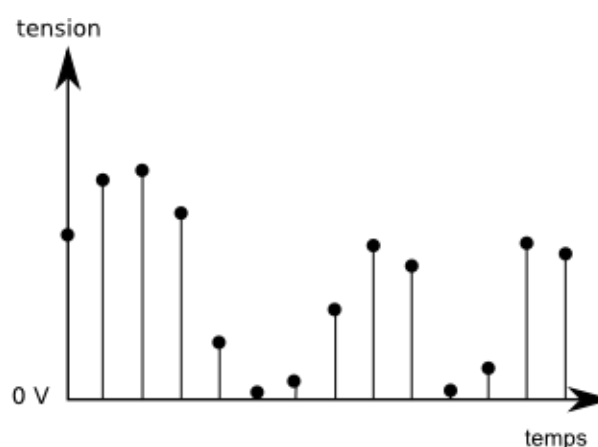
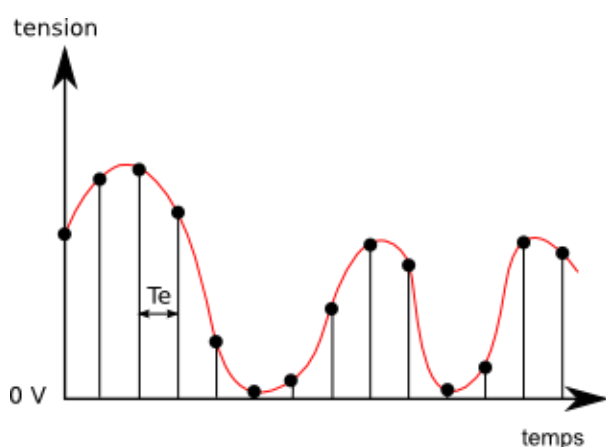


III. DISCRETISATION DU SIGNAL.

Il s'agit de l'étape ❸ dans notre schéma de conversion du son.

La problématique est donc la suivante : comment passer d'une fonction continue f à une suite de valeurs distinctes ? En mathématique, cela a un nom : associer une suite numérique à la fonction f !

Graphiquement, cela revient à passer de la courbe continue à une suite de points.

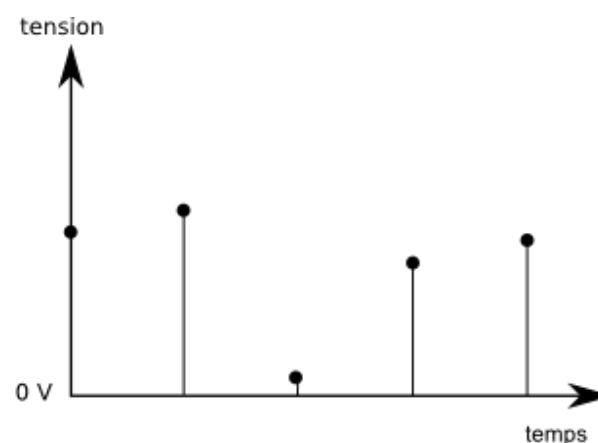
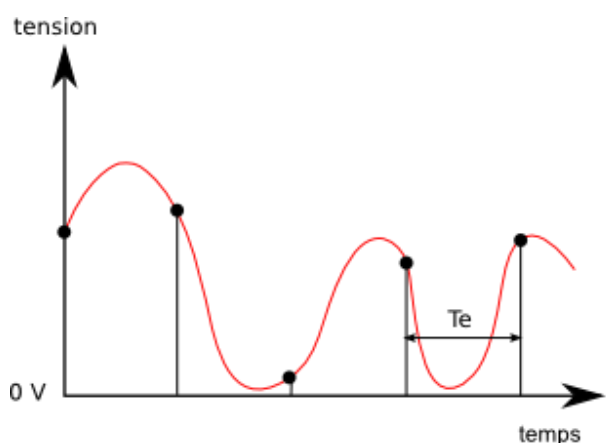


Pour cela, on mesure donc la tension à intervalle régulier. Dit autrement, on prend à intervalle régulier un échantillon de la tension : c'est ce qu'on appelle l'.....

A. Echantillonnage du signal :

➤ Cette prise d'échantillons, comme un appareil qui prendrait des photos à intervalle régulier, ne dépend que d'un seul critère : dit autrement **la fréquence (en herz Hz) qui indique le nombre d'échantillons récupérés par seconde c-à-d la vitesse d'échantillonnage.**

Question : Peut-on échantillonner à n'importe quelle fréquence ? Evidemment que !



Autant dans le 1^{er} échantillonnage, l'ensemble des 14 points redonnait l'allure générale de la courbe, autant dans ce 2^{ème} échantillonnage, l'ensemble des 5 points ne le permet pas. Il n'y a pas assez de !

➤ Le Théorème de Shannon (1949) permet d'éliminer les mauvaises fréquences d'échantillonnage :

« Pour reconstruire un signal de sortie de manière fidèle au signal d'entrée, il faut choisir une fréquence d'échantillonnage au moins deux fois supérieure à la fréquence maximale contenue dans le signal d'entrée. »

Fréquence d'échantillonnage $> 2 \times$ la fréquence maximum contenue dans le signal

Remarques :

- Si cette règle n'est pas respectée, des fréquences parasites apparaissent.
Ce phénomène est le repliement spectral ou aliasing.
- Evidemment, plus la fréquence d'échantillonnage est grande, plus la reproduction sera fidèle.
En contrepartie, l'espace occupée en mémoire sera hélas plus

➤ Application : L'oreille humaine peut entendre des fréquences allant jusqu'à 22 050 Hz.

On veut numériser des chansons sur un support numérique. Quelle fréquence d'échantillonnage entière minimum proposez-vous pour que la numérisation soit fidèle ?

Pour voir et entendre l'effet de la fréquence d'échantillonnage sur le son, aller sur le site internet :

[« Culturesciencesphysique » de l'ENS Lyon, dossier « traitement du signal »](#)



CULTURE SCIENCES
PHYSIQUE

Ressources scientifiques
pour l'enseignement de la physique

ACCUEIL

DOMAINES DE LA PHYSIQUE

DOSSIERS THÉMATIQUES

FORMATS

PROGRAMMES

NUMÉRISATION D'UN SIGNAL ACOUSTIQUE : EFFET DE LA FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE (PARTIE 2)

Auteur(s) :

Delphine Chareyron

ENS Lyon

Stéphane Arbon

Musicien

Christophe Bardon

Musicien

Publié par :

Delphine Chareyron

20/11/2013

La fréquence d'échantillonnage permet de jouer sur la précision « horizontale » (sur l'axe des abscisses) de la numérisation c-à-d sur la rapidité.

Qu'en est-il de la précision « verticale » (sur l'axe des ordonnées) ? C'est la

B. La quantification du signal :

La tension mesurée à chaque point d'échantillonnage est théoriquement un nombre réel.

On va associer à cette tension réelle un nombre entier. **C'est le principe de la quantification.**

1. Concrètement :

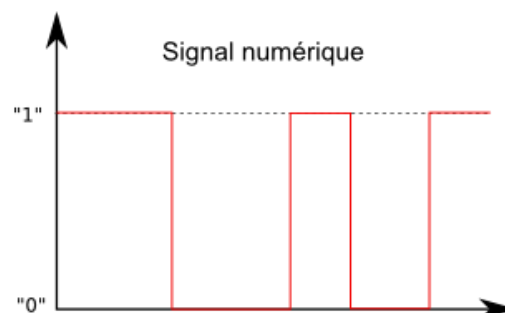
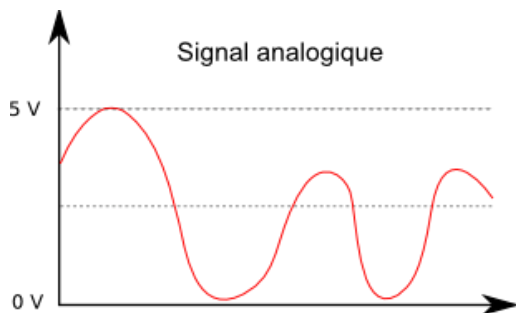
1. L'amplitude du signal (le plus grand écart en ordonnée) est découpée verticalement en un certain nombre de paliers régulièrement espacés.
2. Le nombre de paliers est donné par le pas de la quantification (exprimé en bits) :
Nombre total de paliers = $2^{\text{pas de quantification}}$.
3. A chaque palier repéré par un nombre binaire correspondra un intervalle de réels.

C'est là que ce fait le passage de $\mathbb{R}$ à $\mathbb{N}$.

4. L'erreur entre la valeur réelle et le palier associé est donnée par la formule : $\frac{\text{Amplitude du signal}}{2^{\text{pas de la quantification}}}$.

2. Quantification sur 1 bit d'un signal d'amplitude 5V.

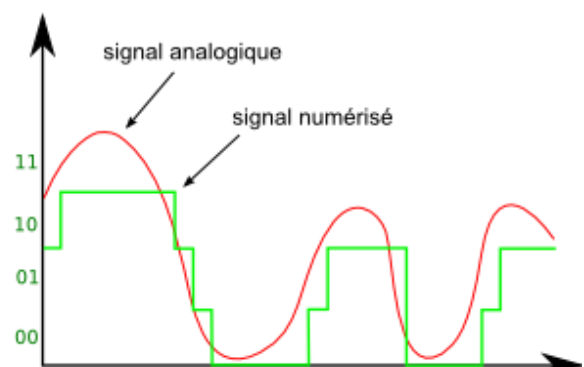
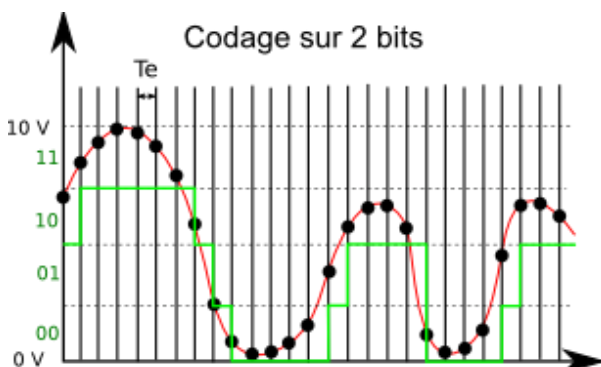
1. L'amplitude est divisée en 2 paliers ($= 2^1$) associés aux 2 valeurs binaires codables sur 1 bit : 0 et 1.
2. L'intervalle 0 à 2,5V correspondra au palier 0 et l'intervalle 2,5 à 5V correspondra au palier 1.



On voit qu'avec une quantification sur 1 bit, le signal numérique n'est pas fidèle au signal analogique.

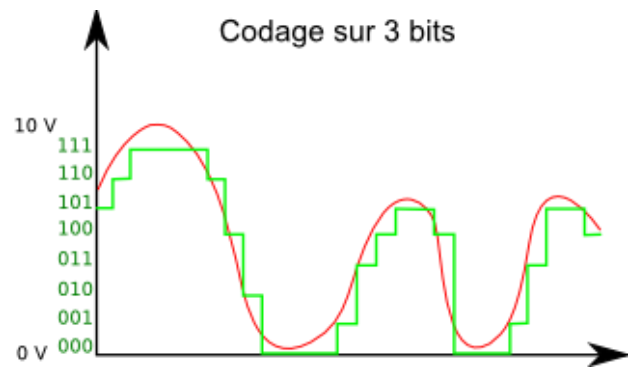
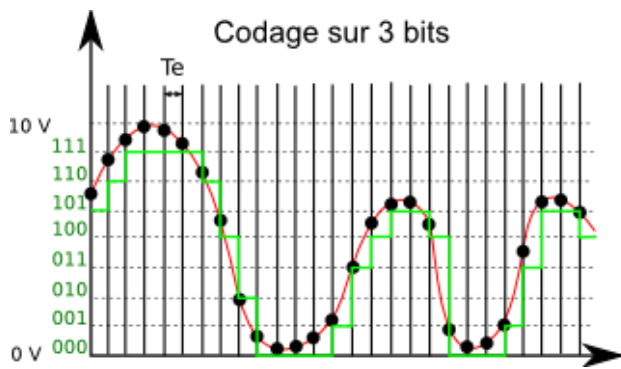
3. Quantification sur 2 bits d'un signal d'amplitude 10V.

1. L'amplitude est divisée en 4 paliers ($= 2^2$) associés aux 4 valeurs binaires codables sur 2 bits.
2. De 0 à 2,5V correspondra au palier 00.
De 2,5 à 5V correspondra au palier 01.
De 5 à 7,5V correspondra au palier 10.
De 7,5 à 10V correspondra au palier 11.

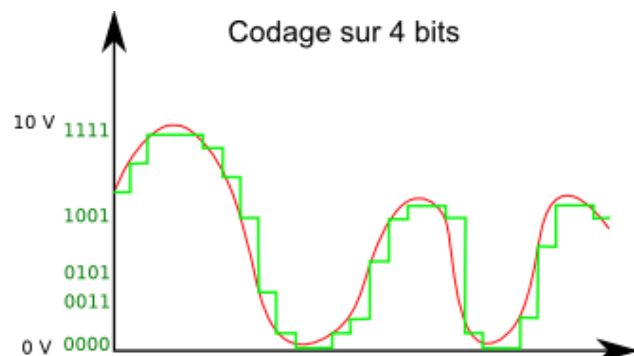
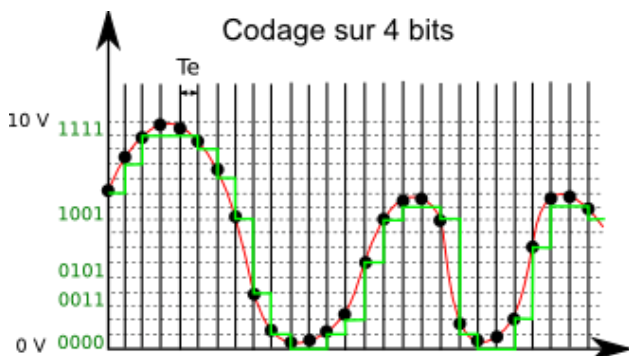


On voit qu'avec une quantification sur 2 bits, le signal numérique est déjà plus fidèle que sur 1 bit.

4. Quantification sur 3 bits du même signal d'amplitude 10V.



➤ Exemple avec une quantification sur 4 bits du même signal d'amplitude 10V :



Que remarque-t-on petit à petit ?

➤ Evidemment, plus le pas de quantification est grand, plus la reproduction sera fidèle.

En contrepartie, l'espace occupée en mémoire sera hélas plus

Pour voir et entendre l'effet du pas de quantification sur le son, aller sur le site internet :

[« Culturesciencesphysique » de l'ENS Lyon, dossier « traitement du signal »](#)

C. Couple « Fréquence d'Echantillonnage – Pas de Quantification » :

Le couple « Fréquence d'Echantillonnage – Pas de Quantification » correspond donc à la double finesse horizontale – verticale de la numérisation du signal.

1. Impact du choix du couple :

○ Impact sur le poids du fichier numérique généré :

Plus le signal sera fidèle, plus le fichier sera

Ce double choix dépend donc du type de sons et/ou de l'usage qu'on veut faire du fichier généré : fichier voix uniquement, fichier master studio, envoi par Internet, etc.

○ Impact sur les performances du traitement de numérisation :

Plus la fréquence d'échantillonnage est grande plus il y aura de valeurs à traiter.

Plus le pas de quantification est grand, plus ces valeurs seront lourdes à manipuler en mémoire.

Ce double choix dépend donc des performances hardware du convertisseur analogique / numérique.

2. Quelques couples standards par ordre croissant de qualité :

Compléter le tableau ci-dessous en recherchant les informations manquantes.

Fréquence d'Echantillonnage	Pas de Quantification	Type de qualité
8 000 Hz	8 bits	Voix Téléphone
22 050 Hz	16 bits	Radio FM
		CD
48 000 Hz	24 bits	DVD / SACD
		Audio Haute Résolution qualité studio professionnel

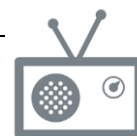
IV. POIDS DE L'INFORMATION SONORE NUMERISEE.

Calcul du poids d'une information sonore : méthode.

1. Multiplier le nombre de mesures par seconde par le poids en bits de chaque mesure (quantification).
Tenir compte de la durée et du nombre de voies (nb de canaux) pour le son.
2. Puis convertir en octets (ou en ko, Mo ou Go etc).

❶ • Ecrire la **formule qui donne le poids en octets d'un fichier son.**

- Application : Un son de 2 secondes a été numérisé en qualité FM. Calculer son poids en ko.



❷ Initialement, le Compact Disc aurait dû avoir une capacité de 60 minutes. C'est à la demande de Norio Ohga l'ancien patron de Sony que la capacité du CD va passer à 74 minutes¹. Sachant que la musique sur un CD est échantillonnée à 44,1 kHz en 16 bits et en stéréo (2 voies), calculer la capacité en Mo d'un CD.

❸ Un enregistrement audio stéréo quantifié sur 16 bits dure 1 minute et pèse 5,292 Mo. En quelle qualité est-il ?

❹ Un SACD d'1 heure pèse 2,592 Go. Sur combien de canaux est enregistrée ce disque SACD ?

❺ Une chanson sur un CD stéréo de 3 minutes a été réencodée en Mp3 à un bitrate de 320 kbps (le bitrate est le produit Fréquence d'échantillonnage × Quantification, exprimé en kilobits par seconde).

Quel est le taux de compression associé à ce réencodage en Mp3 ?

¹ Norio Ohga, grand amateur de musique classique, aurait commandé à ses ingénieurs et à ceux de Philips qui travaillaient conjointement sur cette invention, qu'un CD puisse contenir l'intégralité de la version longue de la 9^{ème} Symphonie de Beethoven enregistrée au festival de Bayreuth en 1951 et qui durait exactement 74 minutes.

V. TRAITEMENT NUMERIQUE DU SON.

A. Avantages :

1. Facilité de stockage : un disque dur peut stocker l'équivalent de milliers de bandes analogiques et l'accès à l'information est direct et non séquentiel.
2. Reproduction aisée et non détérioration du signal, même après un grand nombre de copies.
3. Accès à l'Information et diffusion facilitées.
4. Meilleur rapport signal/bruit (différence entre le signal le plus fort et le signal le plus faible) en numérique qu'en analogique : le numérique est insensible au bruit de fond et aux parasites électriques ou mécaniques.
5. Enormes possibilités de traitement du son : on peut travailler et façonner le son à l'extrême.

B. Inconvénients :

6. Perte d'informations lors du passage au numérique (à cause de la discrétisation), surtout dans le haut du spectre.
7. Traitement numérique plus lent et plus gourmand en ressources matérielles que le traitement analogique.

VI. BILAN NUMERISATION DU SON :

A la fin de ce chapitre, je dois savoir :

Numérisation du son (6 compétences)	☹	☺	😊	😄
Schématiser la numérisation du son.				
Ce qu'est l'échantillonnage du signal.				
Ce qu'est la quantification du signal.				
Citer un couple standard (Fréquence d'échantillonnage – Pas de Quantification) et indiquer à quelle qualité il correspond.				
Calculer le poids en Mo, Go etc. d'une information sonore.				
Calculer un taux de compression sonore.				
Avantages-inconvénients de la numérisation du son.				