

**I) INTRODUCTION - OBJECTIF**

Le son « numérique » a envahi notre quotidien :

- musique (MP3)
  - télévision (TNT)
  - téléphonie (GSM et ADSL)
  - informatique
  - ...
- et bientôt la radio (T-DMB ou DAB+)

Un électronicien moderne se doit donc de comprendre les notions d'électronique mises en jeu dans ces techniques. C'est l'objectif de ce cours.

**II) QU'EST-CE QUE LE SON ?**

Définition : .....

Ecoute d'un son – Analyse électrique d'un signal sonore

Caractéristiques d'un son :

intensité : .....

fréquence : .....

**III) OBSERVATION D'UN SON NUMÉRISÉ (avec Goldwave)**

On charge un son du testeur de réflexes dans le logiciel Goldwave et on analyse le son :

En zoomant fort, on observe que .....

durée entre deux échantillons : .....

fréquence d'échantillonnage : .....

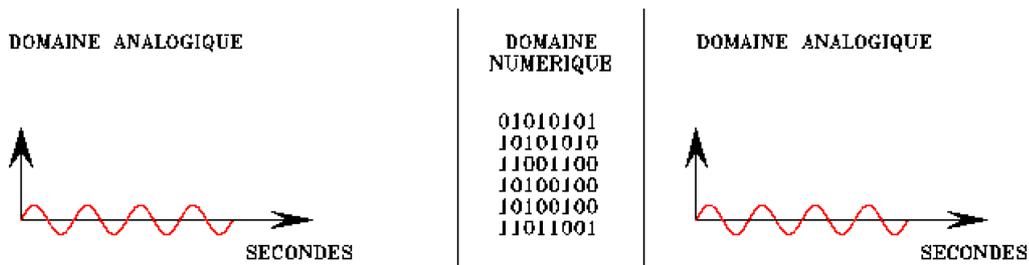
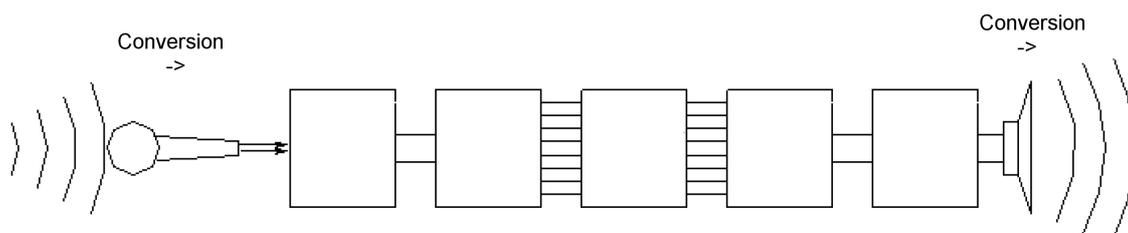
plage de valeurs possibles pour chaque échantillon : .....

nombre de valeurs possibles pour chaque échantillon : .....

nombre de bits pour coder un échantillon : .....

définition d'un bit : .....  
.....

#### IV) CHAÎNE DE TRAITEMENT NUMÉRIQUE D'UN SON



CAN : ..... ADC : .....

CNA : ..... DAC : .....

Par traitement numérique, il faut comprendre :

- 
- 
- 
- 

#### Grandeur analogique – définition :

Dans la chaîne de traitement ci-dessus, une grandeur analogique est une grandeur d'origine ..... ou ..... C'est donc une grandeur qui a **une dimension physique**.

Une grandeur analogique peut donc être une tension (V), un courant (...), une puissance (...), une intensité acoustique (...), etc.

Sa valeur n'est **jamais** réellement **entière**.

#### Grandeur numérique – définition :

C'est une grandeur **sans** ..... (pas d'unité).

Sa valeur **est** ..... Elle est codée en .....

## V) FREQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE

### 1) Echantillonnage (*sampling*)

Un **signal** analogique est constitué d'une ..... de valeurs qui se suivent. Or, dans le domaine numérique, il ne peut pas y avoir une ..... de valeurs (voir page 2 de la doc. TechPro sur l'Audio numérique) car la capacité des systèmes numériques est limitée (taille des mémoires ; débit d'informations ; temps de réponse des composants ; etc)

Il faut donc limiter le nombre de valeurs à numériser. Pour cela, on réalise un .....

**Définition de l'échantillonnage** (voir page 2 de la doc. TechPro) :

L'échantillonnage consiste .....

Pour être de bonne qualité, l'échantillonnage doit se faire à une fréquence .....

Cette règle s'appelle le **théorème de Shannon**.  
(Claude Elwood Shannon 1916 - 2001, USA)

Si  $f_{\text{éch}}$  est la fréquence d'échantillonnage, et  $f_{\text{max}}$ , la fréquence maximale du signal à numériser, on peut écrire :

$$f_{\text{éch}}$$

### 2) Exemples de fréquences d'échantillonnage

Taux d'échantillonnage	Niveau de qualité	Plage de fréquences transmises
8 kHz	téléphone	0Hz à 4000 Hz
32 kHz	radio FM	
<b>44,1 kHz</b>	<b>CD</b>	
48 kHz	DVD standard	
96 kHz	DVD haut de gamme	

## VI) RESOLUTION D'UN CONVERTISSEUR

Définition : .....

Le standard CD a une résolution de 16 bits.  
Les nouveaux supports haut de gamme (DVD) ont une résolution de 24 bits.  
Avec 16 bits, on dispose de .....codes.  
Avec 24 bits, on dispose de .....codes.

## VII) ETUDE EXPERIMENTALE D'UN CAN

Objectif : Relever la valeur de la sortie d'un CAN pour une tension continue en entrée.

Matériel :

- Une carte CAN 8 bits 0-5V
- Une carte de visualisation à 8 leds.

Montage :

- Connecter les sorties de la carte CAN à la carte de visualisation à leds
- Alimenter les deux cartes par une tension réglée à la valeur 5V précise. Vérifier au voltmètre. **Attention à la polarité !**
- Mettre hors tension ; placer le cavalier sur son support; mettre sous tension ; retirer le cavalier.

Contrôles préliminaires :

<i>Points de contrôle</i>	<i>Bon</i>	<i>Mauvais</i>
<i>L'entrée E est reliée au 5V</i>		
Toutes les leds sont allumées		
<i>L'entrée E est reliée au 0V</i>		
Toutes les leds sont éteintes		

Mesures :

- Brancher une autre alimentation entre l'entrée E et la masse.
- Procéder aux mesures qui vont permettre de compléter le tableau suivant :

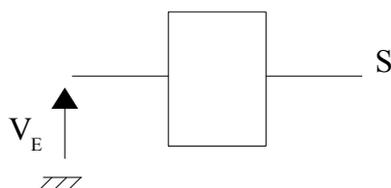
<i>Tension d'entrée <math>V_E</math> (réglée au voltmètre)</i>	<i>Code de sortie (DB7 à DB0) en binaire</i>
200mV	
500mV	
1V	
3V	

## VIII) ETUDE THEORIQUE D'UN CAN

Objectif : Calculer les codes de sortie théoriques du CAN étudié précédemment et comparer avec les valeurs expérimentales.

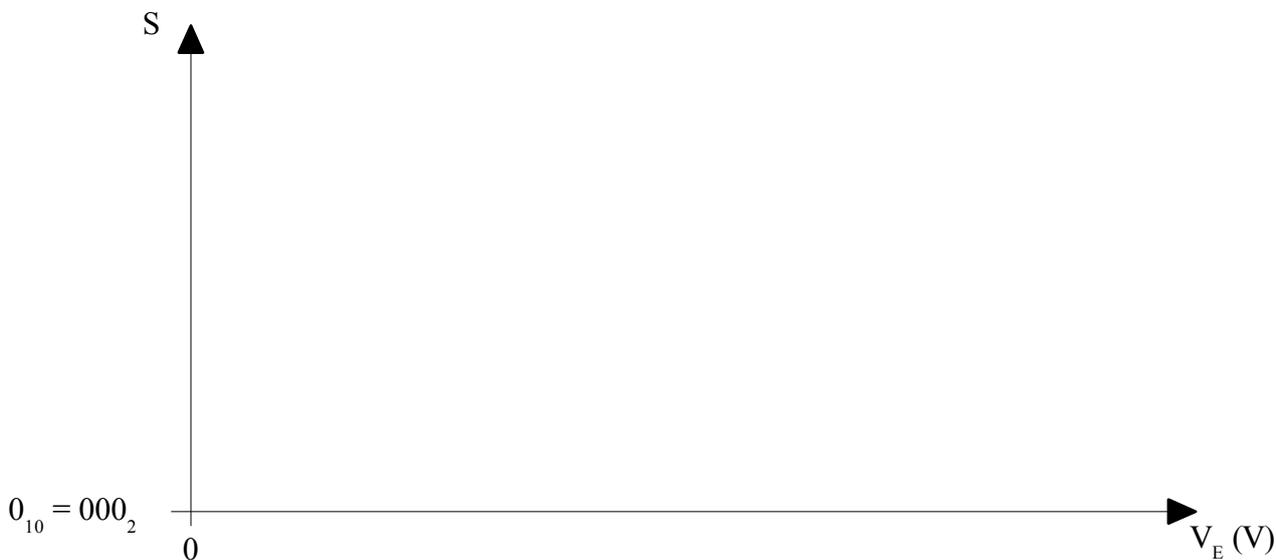
### 1. Principe de conversion

Pour étudier le principe de conversion, on considère, pour simplifier, un CAN 0V/5V sur 3 bits seulement.



Travail à faire :

Le travail va consister à tracer, ci-dessous, la représentation graphique de la relation entre la sortie S et la tension d'entrée  $V_E$ . Nous pourrons alors en déduire des relations applicables à l'ensemble des CAN.



a) Graduer l'axe de la tension d'entrée  $V_E$ .

Avec 3 bits, il y a .... codes possibles car avec n bits, on dispose de ..... codes possibles.

Les codes sont :

000 ; .....

En décimal, cela donne :

0 ; .....

b) Graduer l'axe de la sortie S et écrire tous les codes possibles (en décimal et en binaire).

c) Déterminer par un calcul simple la plage de tension d'entrée qu'il faut affecter à chaque code de sortie pour qu'il y ait une répartition équitable entre les plages de tension affectées à chaque code.

Cette plage de tension, c'est le **quantum**.

q =

d) Tracer la représentation graphique donnant S en fonction de  $V_E$  en affectant à chaque code de sortie S, une plage de tension  $V_E$ .

e) Généralisation :

On appelle :

q, le quantum ;

$\Delta V$ , la différence entre la tension maximum et la tension minimum

applicable en entrée du CAN :

n, le nombre de bits du CAN.

Déterminer la relation qui donne q en fonction de  $\Delta V$  et n :

q =
-----

f) Calcul de la valeur de la sortie

Si  $V_E = 3,2V$  quel calcul faut-il faire pour obtenir le code de sortie  $S$  connaissant la valeur de  $q$  ?

g) Généralisation :

On appelle  $E(x)$  la fonction qui donne la partie entière d'un nombre.

(exemple :  $E(5,215) = 5$ )

Déterminer la relation qui donne la valeur du code de sortie  $S$  en fonction de la tension d'entrée  $V_E$  et du quantum  $q$  :

$S =$
-------

2. Application au CAN 8 bits 0-5V

a) Calculer le quantum  $q$

b) Déterminer le code de sortie  $S$  pour les valeurs de  $V_E$  données ci-dessous.

<i>Tension d'entrée <math>V_E</math></i>	<i>Code de sortie <math>S</math> en binaire</i>	<i>Valeur de <math>S</math> en décimal</i>
200mV		
500mV		
1V		
3V		

c) Comparer avec les valeurs expérimentales que l'on rappelle ci-dessous.

<i>Tension d'entrée <math>V_E</math> (réglée au voltmètre)</i>	<i>Code de sortie (DB7 à DB0) en binaire</i>	<i>Valeur de la sortie en décimal</i>
200mV		
500mV		
1V		
3V		

Conclusion sur la comparaison : .....

.....

.....

## IX) DECOUVERTE EXPERIMENTALE D'UN CNA

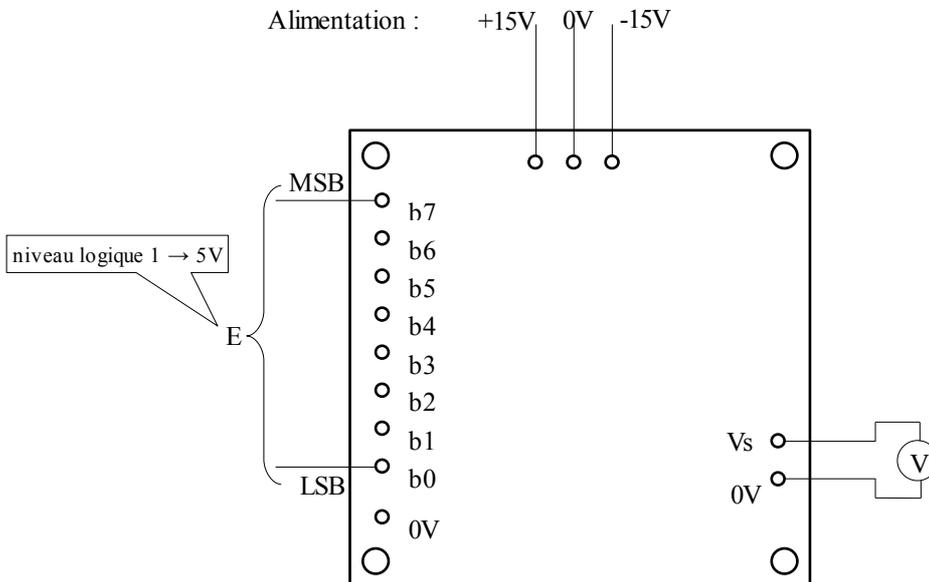
Le CNA permet de convertir un nombre binaire en une .....  
 Dans un lecteur MP3, c'est lui qui permet de traduire le fichier MP3 en signal audible. Mais on le trouve partout où il y a lieu de transmettre un signal numérique à l'oreille humaine :

- .....
- .....
- .....
- .....

### 1) Montage et réglage

On utilise un CNA 8 bits 0V/10V.

Cela signifie que l'entrée, numérique, comporte .....  
 et que la sortie, analogique, sera une tension comprise entre ..... et .....



MSB (Most Significant Bit) : .....

LSB (Least Significant Bit) : .....

Régler la résistance ajustable de façon à obtenir très précisément 10,00V sur  $V_{ref1}$

### 2) Mesures

Mesurer  $V_s$  pour les valeurs de E suivantes :

E	00 <sub>16</sub>	01 <sub>16</sub>	5A <sub>16</sub>	5B <sub>16</sub>	FE <sub>16</sub>	FF <sub>16</sub>
$V_s$ (V)						

Calibre 200mV

**X) INTERPRETATIONS – DEFINITIONS**

Quelle est la tension minimum mesurée que l'on peut obtenir en sortie ? .....

Quelle est la tension maximum mesurée que l'on peut obtenir en sortie ? .....

Ces valeurs correspondent-elles aux valeurs théoriques ? Comparer.

.....  
 .....

Calculons maintenant la différence de tensions obtenues en sortie pour deux valeurs successives de l'entrée E :

<i>Valeurs successives de E</i>	<i>différence de tensions en sortie</i>
00 <sub>16</sub> et 01 <sub>16</sub>	
5A <sub>16</sub> et 5B <sub>16</sub>	
FE <sub>16</sub> et FF <sub>16</sub>	
Moyenne :	

Cette valeur est donc la plus petite différence entre deux valeurs de la tension de sortie. Elle s'appelle le .....

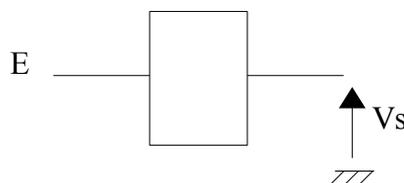
**XI) ETUDE THEORIQUE D'UN CNA**

1. Définition

Le CNA réalise la fonction inverse du .....

Il convertit une grandeur ..... codée en binaire, en une grandeur .....

2. Symbole (à compléter)



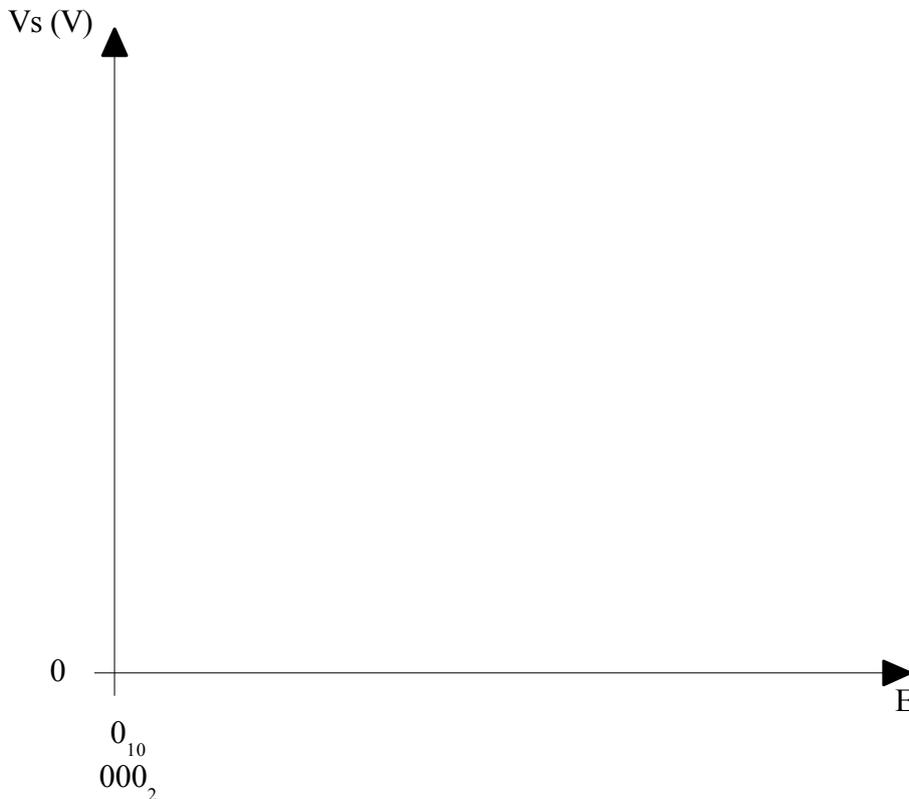
3. Principe de conversion

On considère un CNA 3 bits 0V/10V.

a) Représenter son symbole ci-dessous en faisant apparaître ses entrée et sortie :

Travail à faire :

Comme pour l'étude du CAN, le travail va consister à tracer, ci-dessous, la représentation graphique de la relation entre la sortie et l'entrée.  
Mais dans le cas d'un CNA, l'entrée est numérique : E ; la sortie est ..... : Vs.  
Nous pourrons alors en déduire les relations ..... à l'ensemble des CNA.



b) Graduer l'axe de l'entrée E.

c) Déterminer, par un calcul simple, l'écart entre deux valeurs successives de la sortie Vs. Cet écart, c'est le .....

$$q =$$

d) *Généralisation*

Si on appelle :

q, le quantum ;

$\Delta V$ , la différence entre la tension maximum et la tension minimum en sortie du CNA ;

n, le nombre de bits du CNA,

déterminer la relation qui donne q en fonction de  $\Delta V$  et n :

$$q =$$

Cette relation est donc ..... pour le CAN et le CNA.

e) Tracer la représentation graphique donnant  $V_s$  en fonction de  $E$  en affectant à chaque code d'entrée  $E$ , une tension  $V_s$ .

f) *Calcul de la valeur de la sortie*

Si  $E = 3$ , quel calcul faut-il faire pour obtenir la tension de sortie  $V_s$  connaissant la valeur de  $q$  ?

Déterminer la relation qui donne la tension de sortie  $V_s$  en fonction de l'entrée  $E$  et du quantum  $q$  :

$V_s =$
---------

4. 1er exercice

On considère un CNA 10 bits 0V/5V

$E = 428_{10}$  ; calculer le quantum  $q$  puis la tension de sortie  $V_s$ .

.....

5. 2ème exercice

On considère le CNA expérimenté aux paragraphes I.

a) Calculer le quantum de ce CNA et comparer avec la valeur expérimentale trouvée :

.....

.....

b) Calculer  $V_s$  pour les valeurs de  $E$  suivantes :

E	00 <sub>16</sub>	01 <sub>16</sub>	5A <sub>16</sub>	5B <sub>16</sub>	FE <sub>16</sub>	FF <sub>16</sub>
$V_s$ (V)						

c) Comparer ces valeurs aux valeurs expérimentales. Justifier les éventuels écarts.

.....

.....

## XII) INTERETS DU NUMERIQUE

### 1) La conservation des informations :

Les informations analogiques se conservent mal. Par exemple, les états magnétique et physique d'une bande son se dégradent au cours du ..... Ainsi, au bout de quelques années, la qualité du son se trouvera fortement dégradée, surtout si la bande a été lue de nombreuses .....

Si l'information est enregistrée en ....., la conséquence de cette dégradation du support est beaucoup moins importante. Il suffit d'être capable de distinguer les "1" des "0" pour reconstituer l'information originale.

Par ailleurs, des supports spécifiques au numérique se développent en permanence :

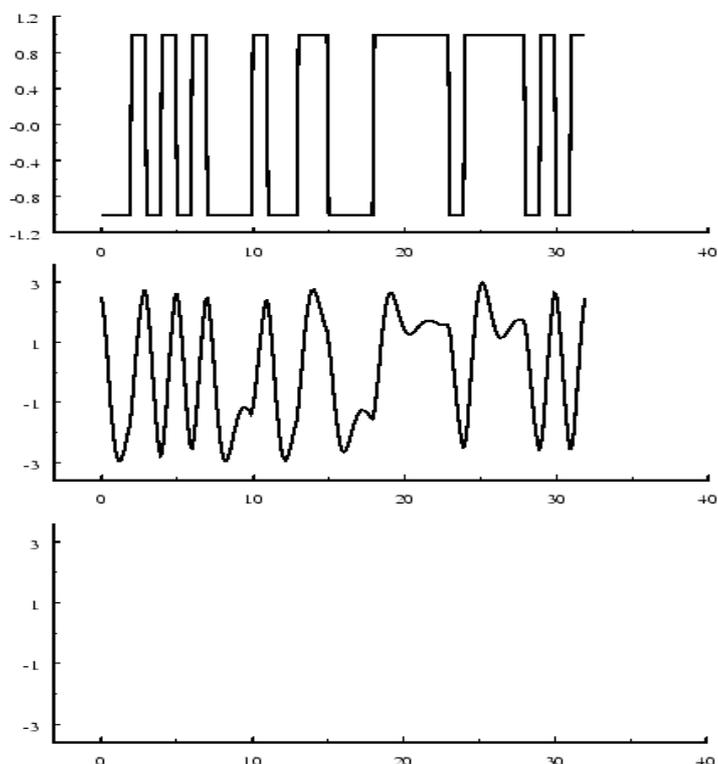
- disque dur
- mémoire flash
- DVD-ROM

### 2) La transmission des informations :

Quelque soit le support de transmission utilisé (c....., f..... o....., f..... h.....) le signal transmis se dégrade physiquement (atténuation, parasites, distorsion)

Pour un signal analogique, la seule solution consiste à **amplifier** et **filtrer**. Certaines déformations du signal ne pourront pas être éliminées car leurs caractéristiques (fréquence) ne peuvent pas être distinguées du signal original.

Pour un signal numérique, on utilise la régénération :



Le signal régénéré est ..... au signal émis.

La fonction de régénération est réalisée à l'aide d'un comparateur.

### 3) Le traitement des informations :

Une fois le signal numérisé, tous les traitements imaginables sont .....  
Seule la ..... des ordinateurs impose une limite (sans cesse repoussée).  
De ce fait, les traitements analogiques sont réservés aux cas simples.

*exemples de traitements numériques :*

Image : traitement des couleurs, extraction d'un personnage, ....

Télévision : mosaïque, incrustation vidéo (PIP), pause du direct (Time shifting), ...

Audio : création musicale (sampling), compilation (baladeur), ...

Transmission : multiplexage (téléphone, télévision, Internet),...

## XIII) **VALIDATION DES CARACTERISTIQUES DE NUMERISATION D'UN SIGNAL (Échantillonnage et Résolution)**

### 1) Fréquence d'échantillonnage

a) Ouvrir Goldwave 5.18

b) Dans Goldwave, ouvrir le fichier MP3 APP – Psychobabble – extrait (dossier Ressource du serveur Bepelec)

c) Sélectionner une partie dynamique du fichier et zoomer jusqu'à obtenir des marches d'escalier (une marche = 1 échantillon)

d) Mesurer la durée d'un échantillon à la  $\mu$ s près.

-

e) En déduire la fréquence d'échantillonnage.

-

f) Pourquoi ne trouve t-on pas 44100 Hz ?

-

g) Trouver une méthode de mesure plus précise de la durée d'un échantillon et calculer à nouveau la fréquence d'échantillonnage. Le résultat est-il satisfaisant ?

-

### 2) Quantification – Résolution

a) Pour faire apparaître les niveaux de quantification du signal dans Goldwave, choisir Options – Windows... – Signed16bit (-32768 to 32767)

b) Pour déterminer le niveau de quantification d'un échantillon, pointer l'échantillon avec la souris ; le niveau de quantification apparaît en bas de l'écran, à droite dans la parenthèse.

c) Combien de niveaux de quantification existe-t-il ?

-

d) A quelle résolution du convertisseur cela correspond-t-il ? Justifier la réponse par un calcul.

-

#### XIV) EFFETS D'UNE MAUVAISE NUMÉRISATION

1) Sous-échantillonnage

Il y a sous-échantillonnage si le théorème de ..... n'est pas respecté.

Voir <http://www.iict.ch/Tcom/Laboratoires/digivox2000/chap/chap1/echantillonnage.htm>

2) Bruit de quantification

Le bruit de quantification devient audible si la résolution est insuffisante.

Voir <http://www.iict.ch/Tcom/Laboratoires/digivox2000/chap/chap2/quantification.htm>

#### XV) FORMATS NUMERIQUES DU SON

Il existe de nombreux formats numériques pour le son. Certains sont compressés, d'autres non. Les plus connus sont :

<i>Format</i>	<i>Compressé (Oui/Non)</i>	<i>Application/Concepteur</i>
PCM		
WAV		
AIFF		
MP3		
WMA		
AAC		
Ogg Vorbis		

#### XVI) LE FORMAT MP3

Le format MP3 est le format numérique du son le plus connu. Il doit son succès au fait qu'il permet de compresser les fichiers son très fortement sans perte de qualité significative pour la plupart des auditeurs.

Calculons le débit binaire (en kbits/s) du format PCM (CD audio) sachant que celui-ci est échantillonné à ..... sur ..... bits en stéréo.

Au format MP3, un débit de 192 kbits/s ne permettra pas à l'auditeur moyen de faire la différence avec le PCM, même sur une très bonne chaîne HiFi. Ce débit prend ..... fois moins de place que le PCM.