

**INTRODUCTION : CHOIX PÉDAGOGIQUES**

Le chapitre 13 s'inscrit dans le thème 4 du programme d'enseignement scientifique de première : son et musiques, porteurs d'information. Cette partie permet d'aborder la notion de numérisation, étape indispensable dans un monde où le numérique est omniprésent. On s'intéresse au cas particulier de la musique tout en faisant le lien avec l'image déjà vue en classe de seconde. La notion de compression de données est ensuite présentée en faisant réfléchir l'élève sur les notions de stockage et de diffusion de l'information, largement facilités par cette compression. Un soin particulier a été porté à l'expérience de l'élève en proposant des fichiers à l'écoute par exemple. L'élève pourra ainsi faire le lien entre le ressenti et les courbes mathématiques. Les activités et exercices utilisent aussi, dans la mesure du possible, des situations de la vie courante (choix d'une carte SD pour un smartphone, choix d'une plateforme de streaming musical...) pour les faire raisonner.

L'**unité 1** présente les différentes étapes de la numérisation d'un signal analogique. Les documents 1, 2 et 4 présentent le principe général respectivement de la numérisation, de l'échantillonnage et de la quantification. Les documents 3 et 5 présentent chacun 3 situations où un unique paramètre est modifié pour que l'élève puisse s'approprier une démarche scientifique et réfléchir sur les meilleurs paramètres de numérisation. Bien que les documents soient suffisants pour mener à bien cette analyse, un logiciel est disponible pour laisser l'élève tester différentes configurations et pouvoir se faire une idée plus précise de ce qu'est la numérisation. L'**unité 2** permet de faire le lien entre les paramètres de numérisation et l'espace mémoire occupé par un fichier son (docs 4 et 5). Ainsi, l'élève peut poursuivre sa réflexion et comprendre pourquoi les paramètres de numérisation comme la fréquence d'échantillonnage et la quantification n'ont pas explosé car liés à l'espace de stockage nécessaire. Il convient donc de trouver un compromis. Le théorème de Shannon donnant la limite basse de la fréquence d'échantillonnage est également présenté (doc 1), on voit donc aussi pourquoi on ne peut pas réduire indéfiniment la taille d'un fichier son. Quelques fichiers audio (doc 2) sont proposés à l'écoute pour voir l'influence d'une modification de la fréquence d'échantillonnage ou de la quantification. L'élève peut donc commencer à sentir la relation entre qualité du son et paramètres de numérisation. Même si cela n'est pas mentionné, il est possible d'utiliser le logiciel ADC3 pour mettre en évidence le théorème de Shannon ou présenter des situations de sous-échantillonnage. Les documents 3 et 6 permettent alors de remettre les différents supports de stockage du son dans une perspective historique et de comparer leurs propriétés.

L'**unité 3** présente la compression. Il est nécessaire de distinguer les compressions sans pertes (doc 1) et les compressions avec pertes (doc 2). La notion de taux de compression est également abordée (doc 3). Le lien entre compression de son et compression d'images est fait dans le document 4. Le document 5 présente une méthode pour compresser un fichier son. Il est ainsi possible d'utiliser les fichiers audio fournis pour voir l'influence de la compression, calculer des taux de compression, écouter la différence entre différents taux de compression ou faire travailler

les élèves avec le logiciel VLC suivant le protocole fourni pour réaliser eux-mêmes des compressions de fichiers et analyser les résultats. Il peut même être intéressant de compresser des fichiers sons différents afin de comparer les taux de compression obtenus car ceux-ci peuvent légèrement varier d'un fichier à l'autre. La notion de compression avec perte peut également être montrée à l'aide de ce protocole en compressant un fichier .WAV en mp3 à 8 kbits/s puis en décompressant le fichier .mp3 obtenu en .WAV. Le fichier .WAV final prendra autant de place que le fichier initial mais aura perdu en qualité à cause de l'étape de compression avec perte.

L'**unité 4** permet de faire le lien entre la qualité ressentie et un spectre de son. On voit ainsi dans le document 1 que même si on ne distingue pas de différence à l'oreille, la compression en .mp3 dégrade le son et cela d'autant plus que le taux de compression augmente. Les documents 2, 3 et 4 donnent des exemples d'offre de streaming musical qu'il est maintenant possible de comparer en toute connaissance de cause. Le document 5 permet enfin de relativiser les choses, trois fichiers sons sont proposés à l'écoute pour comparer la qualité HIFI, PREMIUM et GRATUITE des plateformes de streaming. Il est intéressant d'écouter ces sons avec des dispositifs différents (smartphone, casque, ordinateur portable, installation HIFI) pour se rendre compte que les différences ne seront audibles qu'avec un matériel de restitution du son de qualité.

**POUR COMMENCER**

**1. → b.**

La qualité du son d'un disque vinyle est moins bonne que celle du son issu d'un smartphone car le vinyle stocke le son sous une forme analogique qui peut se dégrader, est sensible aux poussières et à la moindre perturbation. Au contraire, le son numérique d'un smartphone ou d'un CD ne sera jamais dégradé et seul le dispositif d'écoute peut faire changer sa qualité. Cependant, la dynamique plus faible que propose un disque vinyle oblige les ingénieurs du son à beaucoup plus travailler le signal avant gravure du disque c'est pourquoi il est souvent considéré comme supérieur à l'écoute. La réponse (a) peut donc être valable à condition d'être justifiée, le but est ici d'entamer une discussion sur numérique et analogique.

**2. → b.**

La taille d'un fichier compressé est (b) plus petite que celle du fichier original. C'est le but de la compression, utiliser moins de place sur le support de stockage ou un débit moins important si le fichier transite par un réseau.

## Activité guidée

1. On voit dans le doc 3 que plus la fréquence d'échantillonnage augmente et plus le nombre d'échantillons est important. Ainsi, plus la fréquence d'échantillonnage est grande et plus le signal échantillonné est proche du signal analogique de départ. La meilleure solution présentée dans le document est  $f_e = 8\,000$  Hz. Avec une fréquence d'échantillonnage supérieure, la qualité serait encore meilleure.

2. Plus la fréquence d'échantillonnage est grande est plus la numérisation est fidèle.

3. 0110 0011 0010 0011 0110 1001 1100 1101 1100 1001 0110 0011 0010 0011 0110

Même si cette étape est un peu longue à la main, elle permet de voir que l'on peut écrire un son sous la forme de 0 et de 1. Si l'on connaît le nombre de bits utilisés pour la quantification, il est même possible de tracer un signal à partir d'une suite de 0 et de 1. Si vous souhaitez faire l'essai vous pouvez donner le signal suivant codé sur 3 bits aux élèves, il représente le même signal : 010001001001010100101101101100010001001001010100

4. On voit dans le doc 5 que plus la quantification est faite sur un nombre de bits important et plus le nombre de niveaux disponibles est grand. Ainsi, lorsque la quantification est faite sur un grand nombre de bits, le niveau retenu pour chaque échantillon est plus proche de la valeur analogique de départ et le son numérisé est donc plus fidèle. La meilleure solution présentée dans le document est  $N = 8$  bits, mais avec un  $N$  supérieur, la qualité serait encore meilleure.

5. Plus le nombre de bits utilisé pour la quantification est grand et plus la numérisation est fidèle.

## Activité guidée

1. Lorsque la fréquence d'échantillonnage diminue, les plus hautes fréquences ne peuvent plus être numérisées (d'après le théorème de Shannon) et le son paraît plus dégradé à l'oreille. Pour la quantification, il apparaît un bruit de fond qui est d'autant plus grand que la quantification est faible. Ainsi, on retrouve bien les résultats de l'unité 1 mais on peut en plus écouter la différence.

2. Dans le doc 4, on voit que plus la fréquence d'échantillonnage est grande et plus le débit binaire est grand. De même on voit que plus le nombre de bits utilisé pour la quantification est grand et plus le débit binaire est grand. Dans le doc 5, on voit que la taille d'un fichier audio est directement proportionnelle au débit binaire donc plus la fréquence d'échantillonnage est grande et plus la quantification est réalisée sur un grand nombre de bits et plus le fichier sera volumineux. Ainsi, plus un fichier est qualitatif et plus il est volumineux. Si on ne considère pas les fichiers compressés, on peut aussi considérer que plus il est volumineux et plus il est qualitatif.

3. Le CD audio est numérique, il va donc reproduire le son à l'identique à chaque lecture, ce qui n'est pas le cas d'un vinyle soumis à l'usure ou aux poussières par exemple. Il ne s'use pas car

il est lu par laser et pas par contact. La durée du son stockée sur un CD est aussi supérieure à celle stockée sur un disque vinyle. Enfin, même si cela n'est pas indiqué dans les documents, le CD propose une dynamique (écart entre le son le plus faible et le son le plus fort) plus importante que sur un vinyle ce qui permet de meilleures performances pour de la musique classique par exemple.

Le SA-CD est encore meilleur que le CD à tous points de vue. Il permet de stocker du son sur 6 (dolby surround) pistes là où le CD est limité à 2 (stéréo) permettant une meilleure spatialisation, il a une dynamique plus importante que le CD et permet de reproduire les hautes fréquences de manière encore plus fidèle que le CD.

4. 3 min = 180 s

Tout d'abord pour un CD :

1 Mo = 1 000 000 octets et 1 octet = 8 bits

$$\text{Débit binaire} = f_e \times N \times c = 44\,100 \times 16 \times 2 = 1\,411\,200 \text{ bits/s} \\ = 1,4112 \text{ Mbits/s}$$

$$\text{Taille} = \text{Débit binaire} \times \text{Durée} = 1\,411\,200 \times 180 \\ = 254\,016\,000 \text{ bits} = 31,752 \text{ Mo}$$

Pour un SA-CD :

$$\text{Débit binaire} = f_e \times N \times c = 2\,822\,400 \times 1 \times 2 \\ = 5\,644\,800 \text{ bits/s} = 5,6448 \text{ Mbits/s}$$

$$\text{Taille} = \text{Débit binaire} \times \text{Durée} = 5\,644\,800 \times 180 \\ = 1\,016\,064\,000 \text{ bits} = 127,008 \text{ Mo}$$

La taille du fichier sur un SA-CD est 4 fois plus grande d'où une qualité supérieure.

## Activité guidée

1. 2R, 4B, 2V, R, 3V, 4G, 3R donne :

R R B B B V V R V V V G G G R R R

c'est-à-dire le message initial.

C'est le principe de la compression sans pertes, le message compressé est plus court que le message original mais il permet de conserver la totalité de l'information et donc de reproduire à l'identique le message initial. C'est le cas de la compression .flac pour le son ou de la compression .zip.

2. La compression avec pertes élimine une partie des informations durant la compression pour diminuer la taille du fichier compressé, au contraire de la compression sans pertes qui conserve la totalité de l'information. La compression avec perte permet des taux de compression supérieurs à ceux de la compression sans perte.

3. Si le taux de compression est de 11:1, alors le débit binaire du fichier compressé est 11 fois plus faible que celui du fichier original :

$$\text{Débit binaire} = \frac{1\,411,2}{11} \approx 128 \text{ kbits/s.}$$

De même si le taux de compression est de 11:1, la taille du fichier compressé est 11 fois plus faible que celle du fichier original :

$$\text{Taille} = \frac{10\,400}{11} \approx 945 \text{ ko.}$$

4. Un fichier compressé en .flac est de meilleure qualité qu'un fichier compressé en .mp3 car le flac est une compression sans perte et le mp3 une compression avec perte. Ainsi le fichier flac est parfaitement conforme au fichier original alors que de l'information sonore a été perdue lors de la compression en mp3. Cela

dit, il est presque impossible de distinguer à l'oreille un fichier .flac d'un fichier mp3 à 320 kbits/s.

5. L'image est compressée avec pertes. On voit sur le détail de l'œil que plus le taux de compression augmente et plus l'image est dégradée. Cependant, la dégradation concerne des détails peu visibles, par analogie avec le cas du mp3 pour lequel la dégradation ne concerne que des détails peu audibles.

Pour l'image compressée :

$$\text{Taux de compression} = \frac{5,6}{1,1} = 5,1:1.$$

Pour l'image très compressée :

$$\text{Taux de compression} = \frac{5,6}{0,268} = 20,9:1.$$

6. Plus le taux de compression est important et plus le son est dégradé. On perd en effet de plus en plus de détails. Il peut être intéressant de comparer ces fichiers audio en utilisant différents matériels pour les jouer (casque, haut-parleur, smartphone, etc...) car les différences peuvent être indécélables avec des systèmes de reproduction de son de mauvaise qualité.

UNITÉ 4

	SOUNDER	MUZOS	BUZSTREAM
GRATUIT	0 euro Lecture aléatoire compression avec perte 96 à 160 kbits/s Publicité 30 millions de titres	0 euro compression avec perte 128 kbits/s Publicité 50 millions de titres	X
PREMIUM	9,99 euros compression avec perte 320 kbits/s 30 millions de titres	9,99 euros compression avec perte 320 kbits/s 50 millions de titres	9,99 euros compression avec perte 320 kbits/s > 40 millions de titres
HIFI	X	> 10 euros compression sans perte FLAC 16 bits 44,1 kHz 36 millions de titres	19,99 euros compression sans perte FLAC 16 bits 44,1 kHz 40 millions de titres
STUDIO	X	X	24,99 euros compression sans perte FLAC 24 bits 192 kHz < 40 millions de titres

Pour une écoute sur smartphone, une offre HiFi ou studio n'a pas d'intérêt car on ne pourrait pas profiter de l'augmentation de la qualité du son.

Quelqu'un qui écoute beaucoup de musique sera vite lassé des publicités ou de ne pas pouvoir choisir sa musique ce qui permet d'écarter les offres gratuites.

Les trois fournisseurs de service proposent une offre premium assez similaire avec une qualité sonore largement suffisante pour être écoutée sur smartphone et un catalogue assez riche (plusieurs dizaines de millions) pour trouver son bonheur et découvrir de nouvelles choses même si on écoute beaucoup de musique.

1 Vrai/faux

- a. Vrai.
- b. Faux. Un son sera plus fidèle à l'original s'il est numérisé avec un nombre de bits de quantification plus élevé.
- c. Faux. La taille d'un fichier audio dépend de sa durée.
- d. Faux. La compression peut détériorer l'information initiale.
- e. Vrai.

2 Légèrer un schéma

La courbe rouge est le signal analogique.

Les points bleus sont les échantillons.

La courbe bleue est le signal échantillonné.

$T_1$  est la période d'échantillonnage.

$T_2$  est la période du signal analogique.

3 QCM

1. Avec une quantification sur 16 bits, on peut coder  $2^{16}$  valeurs soit 65536 valeurs, réponse a.

2. La taille d'un fichier audio dépend de son débit binaire et de sa durée, réponse b car :

$$\text{Taille} = \text{Débit binaire} \times \text{Durée}$$

La réponse c n'est pas fausse mais incomplète, de plus le nombre de canaux est déjà pris en compte dans le débit binaire.

3. Si on double la fréquence d'échantillonnage, la quantification n'est pas affectée, et la période d'échantillonnage est divisée par deux. La réponse est b le débit binaire double car :

$$\text{Débit binaire} = f_e \times N \times c.$$

4. Il suffit de lire sur la courbe, réponse b.

5. Réponse c pour avoir un rendu sonore de qualité, il faut un fichier audio de qualité et du matériel de rendu de qualité. La qualité du fichier son ne suffit pas et le rendu sera différent sur une paire d'écouteurs ou sur du matériel HiFi professionnel.

4 Question de synthèse

Dans les deux cas, la compression vise à réduire la taille du fichier original et son débit binaire. Lors d'une compression sans perte, le taux de compression obtenu est faible mais la totalité de l'information est conservée, on a donc conservé l'information originale à l'identique.

Lors d'une compression avec perte, toutes les fréquences pour lesquelles l'oreille est peu sensible sont éliminées pendant la compression de manière à réduire l'information à stocker et augmenter le taux de compression. Le fichier obtenu est dégradé par rapport au fichier original mais fait souvent illusion car assez proche à l'oreille surtout avec du matériel de lecture de mauvaise qualité.

Objectif BAC

5 Mesurer et calculer

1. Si l'on regarde entre deux maxima successifs du signal analogique, on compte trois échantillons dans le cas de  $f_{e1}$  et 7 dans le cas de  $f_{e2}$ . Ainsi, dans les deux cas, la période d'échantillonnage est inférieure à la moitié de la période du signal analogique et donc la fréquence d'échantillonnage est bien supérieure à deux fois la fréquence du signal analogique. Le théorème de Shannon est donc bien respecté.

2. Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée et plus le signal numérisé sera fidèle au signal analogique de départ. La  $f_{e2}$ ,

supérieure à  $f_{e_1}$ , reproduit donc mieux le signal analogique.

3. Il y a 16 niveaux pour la quantification. Cela correspond à une quantification sur 4 bits car  $2^4 = 16$ .

4. 1110 1111 1010 0010 0000 0010 1010 1111 1110 0111 0001 0000 0101

En l'état, une valeur ne peut pas être déterminée avec certitude juste par lecture graphique (la dixième), on peut donc accepter 0111 ou 1000

## 6 Calculer et raisonner

1. En considérant la durée maximale possible, on a 74 minutes sur chaque CD et 300 CDs.

$$\text{Durée} = 74 \times 60 \times 300 = 1\,332\,000 \text{ s.}$$

Il y a donc 1 332 000 s de musique dans cette bibliothèque.

2. On connaît maintenant la durée, on connaît aussi le débit binaire d'un fichier MP3-320 qu'il faudra convertir en bits/s. On rappelle que :

1 octet = 8 bits et 1 Go = 1 000 000 000 octets

La taille peut donc être calculée en utilisant la formule du cours :

$$\begin{aligned} \text{Taille} &= \text{Débit binaire} \times \text{Durée} \\ &= 320\,000 \times 1\,332\,000 \\ &= 426\,240\,000\,000 \text{ bits} = 53,28 \text{ Go.} \end{aligned}$$

3. Les cartes mémoires de 64 GB ou de 128 GB conviennent donc dans le cas présenté.

## 7 Calculer et vérifier

1. La compression en mp3 est une compression avec pertes.

2. Le taux de compression peut s'obtenir d'après le rapport des tailles du fichier original et du fichier compressé :

$$\text{Pour mp3\_320: Taux de compression} = \frac{4\,214\,596}{1\,753\,920} = 2,4:1$$

$$\text{Pour mp3\_128: Taux de compression} = \frac{4\,214\,596}{701\,184} = 6,0:1$$

$$\text{Pour mp3\_56: Taux de compression} = \frac{4\,214\,596}{305\,928} = 13,8:1$$

3. Les trois fichiers audio sont dégradés car il s'agit d'une compression avec perte, mais cela ne devient très audible que pour le mp3\_56 pour lequel le taux de compression est supérieur à 10:1.

4. On peut faire le calcul de plusieurs façons, l'essentiel est de faire un calcul correct puis de comparer avec une des données. Pour le mp3\_320 :

$$\text{Taux de compression} = \frac{768}{320} = 24:1, \text{ en accord avec le résultat de la question 2.}$$

On a un taux de compression de 2,4:1. Le débit du fichier compressé est donc de :

$$\text{Débit} = \frac{768}{2,4} = 320 \text{ kbits/s, en accord avec le débit annoncé}$$

pour le fichier compressé.

De même, on trouve pour les deux autres fichiers, 6:1 et 13,7:1, ce qui est en accord avec les résultats obtenus à la question 2.

## ÇA VOUS CONCERNE

### - Numérisation d'archives

Il suffit de taper « archive audio » dans un moteur de recherche pour se rendre compte de la diversité et du nombre de projet de numérisation d'archives audio ou vidéo. On peut citer l'INA par exemple.

### - Le code Morse aujourd'hui

Le code morse est principalement utilisé par les militaires comme moyen de transmission, souvent chiffré. Dans le civil, il est aussi utilisé pour des radiobalises en aviation, pour la signalisation maritime, ou pour des émetteurs internationaux comme des horloges atomiques. Il est également pratiqué par des amateurs comme des radioamateurs, scouts (morse sonore et lumineux), plongeurs ou alpinistes (morse lumineux).