

Digital-Scratch : le timecode	
Historique des versions	21/05/04 : Création du document

Sommaire

1 Introduction.....	2
2 La platine vinyle.....	3
3 Le disque vinyle.....	4
4 La cellule, le problème de transformation du son de sortie.....	5
5 Le timecode.....	6
6 Le problème du positionnement de la cellule.....	7
6.1 Timecode 1 : Jouer sur la forme.....	7
6.2 Timecode 2 : Rajouter des informations fréquentielles.....	8
7 Les tests.....	10
7.1 Lecture normale.....	10
7.2 Arrêt lent.....	10
7.3 Pose de cellule.....	11
7.4 Scratch.....	11
8 Le timecode final : un travail sur la forme et la fréquence.....	13
8.1 Vue générale.....	13
8.2 Vitesse de rotation.....	13
8.3 Sens de rotation.....	13
8.4 Système de positionnement.....	14
8.5 Tests sur disque vinyle pressé.....	14
9 Références.....	15

1 Introduction

Pour pouvoir renseigner à tout instant la vitesse et le sens de lecture du mp3, il faut récupérer des informations précises provenant du vinyle en mouvement.

Ce fameux vinyle doit donc posséder une structure qui, par l'intermédiaire de la cellule et de son diamant, génère un son reconnaissable et analysable par le PC (via la carte son). Nous appellerons cette structure « timecode », car elle code le temps (par l'intermédiaire de la fréquence de rotation du vinyle et de l'emplacement de la cellule). On doit ainsi pouvoir mettre en oeuvre la détection des 3 caractéristiques d'une platine en mouvement : le sens et la vitesse de rotation du disque et la position de la cellule.

Avant de détailler le timecode utilisé, il convient de définir avec précisions les notions de platine vinyle, disque vinyle et cellule de lecture.

2 La platine vinyle

Pratiquement toutes les informations qui suivront, sont extraits du site <http://www.son-video.com> à la page <http://www.son-video.com/Rayons/Hifi/PlatineTD/CatPlatineTD.html>.

Une platine vinyle est composée des éléments suivants

- Le plateau tournant
- Le moteur et son alimentation
- Le bras
- La cellule
- Le socle
- Les accessoires

Le plateau tournant supporte et entraîne le disque. Il est étroitement associé au système d'entraînement (moteur). L'objectif commun à toutes les platines est d'offrir un entraînement très régulier et silencieux. La cellule se comporte comme un microphone qui « écoute » les gravures du sillon. La moindre vibration est donc directement amplifiée et audible.



Illustration 1 - Platine vinyle en éclaté

3 Le disque vinyle

Avant de détailler les technologies mises en œuvre pour lire les disques, il est important de comprendre le fonctionnement de l'enregistrement phonographique.

Pour produire un disque, l'enregistrement est tout d'abord masterisé. Cette finalisation consiste à ajuster tous les paramètres de l'enregistrement pour que celui-ci soit compatible avec le support de diffusion. Cela existe aussi pour le CD mais avec d'autres contraintes. Pour le vinyle, il faut limiter la dynamique, notamment dans les graves pour conserver une taille de sillon compatible. Le responsable de cette opération décide de la manière de traiter la bande-son pour conserver les aspects artistiques (en relevant délicatement certains passages par exemple).

Tous les disques ne sont pas identiques. Entre les modèles standards des années 70 à 80 et les modèles audiophiles (disponibles mais rares depuis les années 70) en vinyle 180 ou 190g... il y a un monde: les modèles haut de gamme acceptent une dynamique bien plus importante. Les disques standard sont pressés en 125g. Il existe des pressages spéciaux de haute qualité en 160, 180 et même 190g.

La gravure nécessite une égalisation pour accentuer les aigus et réduire les graves suivant une courbe normalisée par la RIAA. Une courbe inverse est appliquée dans le préampli en sortie de cellule. Ce traitement permet d'améliorer considérablement le rapport signal / bruit des disques.

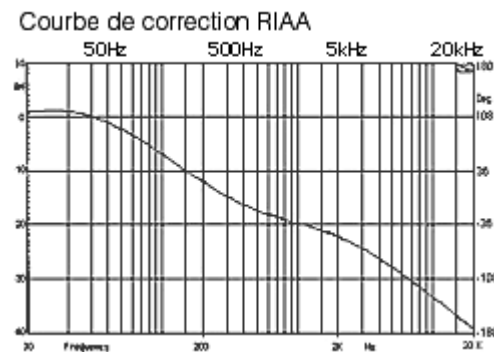
Le support (appelé flan) est un disque en aluminium recouvert d'une laque de nitrocellulose. La gravure se fait par un burin placé sur un bras tangentiel. La vitesse d'avance du bras est réglable pour permettre une durée plus ou moins longue. Plus la durée est longue et plus les sillons sont serrés et donc, moins il y a de capacité dynamique. On peut aussi augmenter la dynamique en utilisant une vitesse plus grande, 45tr/min, sur un 30cm ou en employant un système de compression de dynamique (dBX). Cette dernière solution nécessite un décodeur (expanseur) ce qui en limite la diffusion. On tirera de ces flans un moule métallique, la matrice de pressage, réalisée par galvanoplastie. Le disque sera ensuite pressé à chaud (160°) avec une pâte de PVC/acétate de vinyle. La couleur noire est donnée par un colorant. Certains disques sont pressés en couleur pour des éditions collector, cela ne changeant rien au son.

Les disques microsillons ont été fabriqués avec 2 vitesses normalisées: 33 et 45 tr/min. Toutes les platines proposent ces 2 vitesses. Les disques plus anciens, c'est-à-dire avant les microsillons sont le plus souvent en 78tr/min. Cependant, les débuts de l'industrie phonographique ont connu des tâtonnements traduits par des vitesses très variées (40, 60, 78 tr/min).

<i>Caractéristiques des disques</i>	33 tr/min	78 tr/min
<i>Largeur des sillons</i>	25...100 µm	100...125 µm
<i>Pas entre sillons</i>	85...140 µm	250...300 µm
<i>Bande passante</i>	30 Hz...15 kHz	100 Hz...10 kHz
<i>Rapport signal/bruit</i>	env. 60 dB	env. 35 dB

4 La cellule, le problème de transformation du son de sortie

La cellule phono délivre un signal de très bas niveau: 3mV pour les modèles à aimant mobile, 0,3mV pour celle à bobine mobile. Afin de permettre un bon rapport signal / bruit, le disque est gravé avec une pré-accatuation qui remonte les aigus et réduit les graves. La courbe de préaccatuation a été définie par l'association des éditeurs phonographiques américains, la fameuse RIAA qui a donc donné son nom à cette courbe. Le préamplificateur phono utilise une courbe inverse définie suivant des normes rigoureuses.



La courbe de lecture doit être rigoureusement inverse à celle de la gravure des vinyles. Voici la formule permettant d'appliquer les corrections que l'on doit appliquer à la lecture, si l'on veut récupérer les timbres originaux et les différents équilibres :

$$dB = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 t_2^2} \right) - 10 \log_{10} \left(1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 t_1^2} \right) - 10 \log_{10} (1 + 4\pi^2 f^2 t_3^2)$$

A l'aide d'un tableur, on peut facilement trouver la valeur de fréquence pour laquelle il n'y a aucune correction . On trouve alors une valeur de 1026 Hz, disons pour simplifier, 1kHz.

5 Le timecode

Cette dernière valeur est très intéressante : en effet, vu la faible intensité du signal généré par une cellule, on ne peut utiliser l'entrée ligne d'une carte son. Reste alors l'entrée micro, qui elle, est capable de « remonter » le signal d'entrée en appliquant un filtre de +20dB. Il reste un problème : par défaut les cartes sons n'intègre pas de manière matérielle la compensation calqué sur la courbe RIAA. Le signal récupéré n'est donc pas le bon. Or, il existe une valeur qui ne subit aucune transformation si un filtre RIAA était présent, c'est justement cette fréquence de 1026Hz. On peut donc affirmer maintenant que si l'on presse un vinyle avec un « son » à 1026Hz, celui-ci apparaîtra de la même manière à 1026Hz dans la carte son. Autre intérêt : si on possède une platine intégrant d'emblée le décodage RIAA, celui-ci n'aura presque aucune influence (au moins pour la vitesse de rotation à 0% d'augmentation). C'est grâce à la fréquence du signal recueilli que l'on pourra jouer le mp3 à la vitesse correspondante à la vitesse de rotation physique du disque.

Deuxième caractéristique du « son » à utiliser : la forme. Pour pouvoir facilement détecter la fréquence et l'amplitude du time code, il convient d'utiliser un signal sinusoïdale, plus apte à être pressé sur un disque vinyle que le « parfait » signal carré.

Troisième caractéristique. Il faut en dernier lieu pouvoir détecter le sens de rotation du vinyle. Pour cela, nous allons jouer sur les 2 pistes (stéréo) du disque. Chaque voie possèdera le même timecode à un décalage d'un quart de période prêt. Comme cela, si on considère que c'est la voie de gauche qui est en avance sur celle de droite dans le sens normal de lecture (front montant de G avant celui de D), il sera aisé de détecter un sens inverse si l'ordre d'arrivée des fronts change. Si pour un front montant de gauche on suit par un front montant de droite, c'est que l'on tourne dans le sens normal, sinon, si c'est un front descendant qui suit sur la voie de droite, c'est que l'on tourne dans le sens inverse.

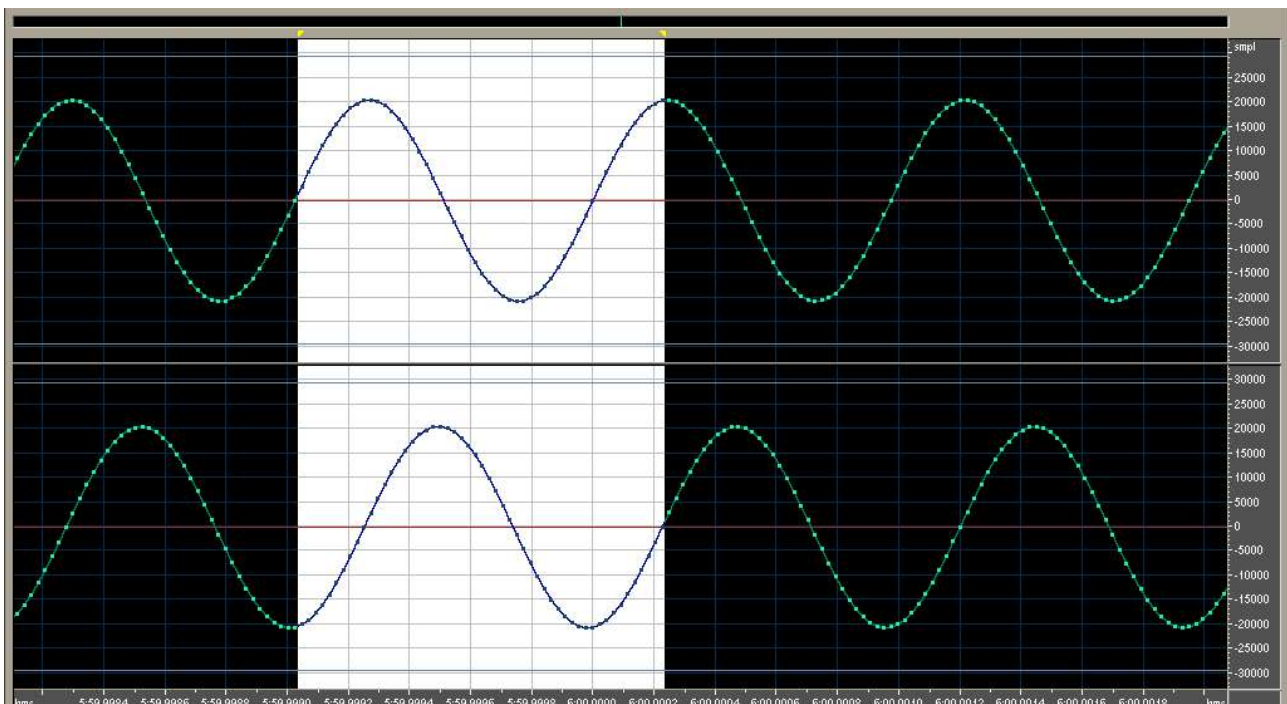


Illustration 3 - Timecode de base : 2 sinusoïdes à 1kHz, déphasées d'un quart de période

6 Le problème du positionnement de la cellule

Après avoir simulé la vitesse de rotation du disque vinyle et son sens, il reste à repérer l'emplacement de la cellule. On entend par « emplacement » la position diamétrale de la cellule. Dans le cas de l'usage d'un disque classique, si l'on place la cellule au début du disque, on entendra le début du morceau, de même pour la fin. Il s'agit donc de simuler cet emplacement pour lire le fichier mp3 à partir de l'endroit exact correspondant à l'emplacement de la cellule.

Pour cela, plusieurs solutions sont possibles. Tout d'abord, on peut penser à faire diminuer progressivement le volume sonore du timecode sur l'ensemble du disque. Ainsi à tout instant connaissant l'amplitude du timecode, on peut déterminer la position de la cellule. Après avoir effectués des tests, on s'aperçoit que l'amplitude n'est pas une donnée viable. Elle a tendance à osciller ou, lors de problème à la surface du vinyle, d'être complètement fausse pendant un temps relativement long. La solution, de part son manque de précision, ne peut pas être retenue.

La deuxième solution par d'une constatation simple : deux notions nous sont directement accessibles dans un timecode, l'amplitude et la fréquence. Si l'amplitude n'est pas une donnée à tout instant satisfaisante, tentons de « coder » notre position de manière fréquentielle. Problème : on ne peut pas toucher à notre fréquence de base qui nous permet de déterminer la fréquence de rotation du disque. Voici les 2 premières solutions étudiées pour la première version de l'application

6.1 Timecode 1 : Jouer sur la forme

L'idée ici est d'utiliser un décalage temporel des pics de la sinusoïde. En temps normal, la valeur maximum d'une sinusoïde se trouve centrée par rapport au front montant et descendant qui l'encadre. L'intérêt ici est de décaler soit vers l'avant soit vers l'arrière (en termes temporel) ce maximum (et de manière équivalente le minimum) de manière à détecter son emplacement et par là de proposer un codage de la position de la cellule. Voici un exemple sur cette courbe :

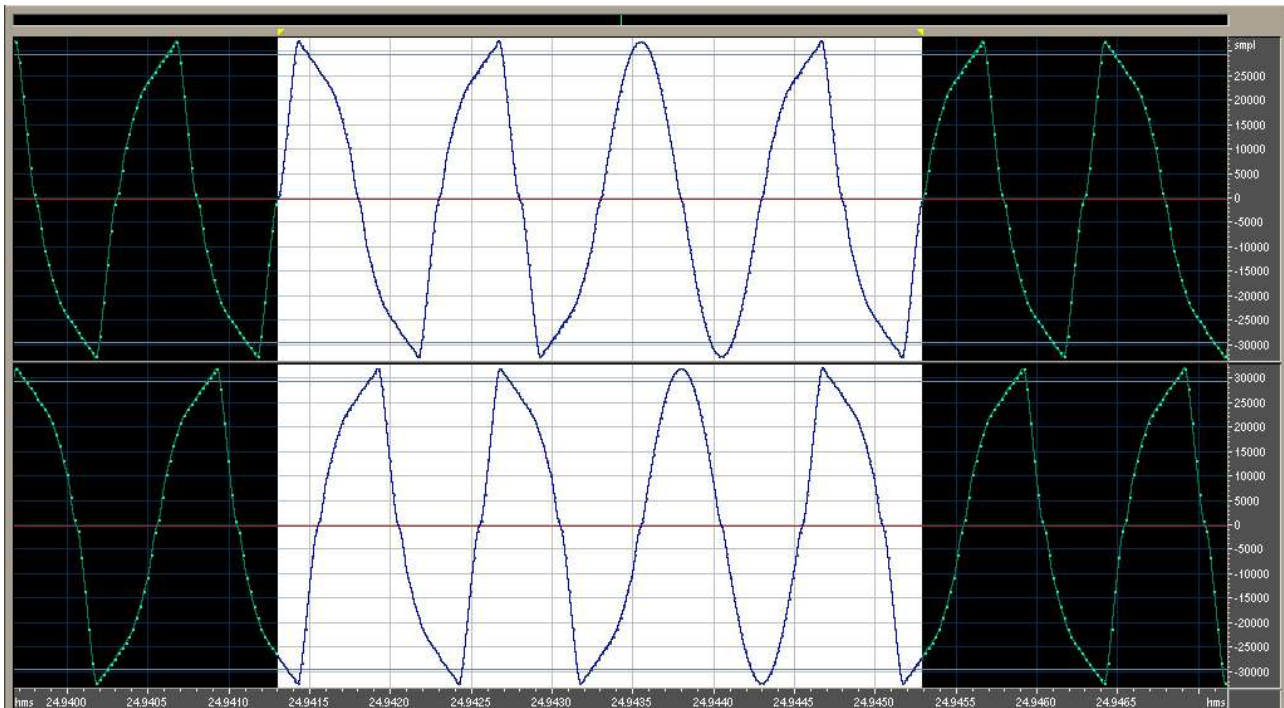


Illustration 4 - Timecode utilisant la modification de forme

Ici, le codage s'effectue sur 4 périodes de signal (2 informations, la partie haute et la partie basse) que l'on peut doubler en utilisant la période correspondante sur l'autre voie. Cela nous ramène à 16 informations toutes les 4 périodes recueillies. Si l'ensemble de ces 16 informations représente un chiffre hexadécimal d'un nombre de type 0xXXXX, on peut coder 65536 valeurs différentes.

6.2 Timecode 2 : Rajouter des informations fréquentielles

Autre solution, rajouter à chaque pics de sinusoïde une informations de 4 nombres binaires 0 ou 1. Pour cela, il suffit de placer de manière centré au niveau de chaque pic une autre sinusoïde de 4 demi périodes dont chacune peut prendre 2 fréquences, l'une haute représentant un 0, l'autre faible représentant un 1. Ensuite, on utilise les 2 pics haut et bas de chaque voie. Ceci nous ramène à 4 informations par pics, donc 16 informations en tout, c'est-à-dire un nombre de 16 bits pouvant prendre également 65536 valeurs. On travaille donc cette fois-ci sur seulement une période, la réactivité est donc très grande. La courbe suivante illustre cela :

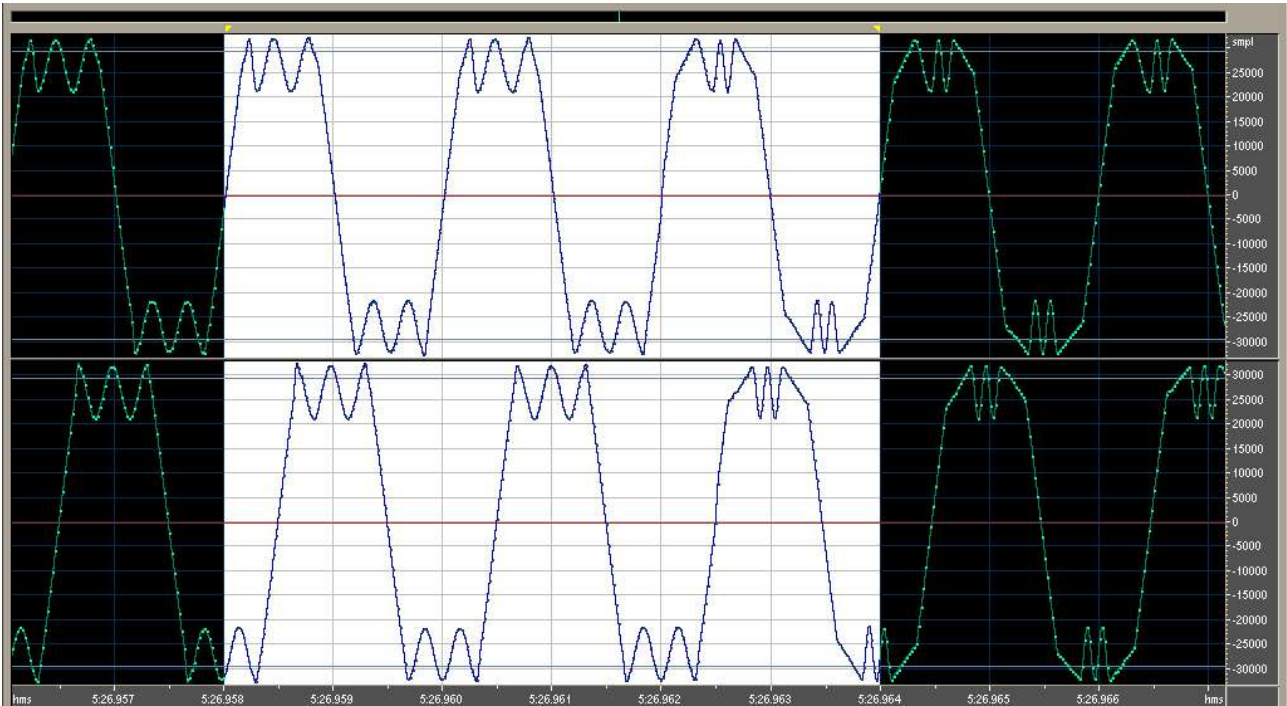


Illustration 5- Timecode utilisant une variation de fréquence sur les "pics" des sinusoïdes

7 Les tests

Avant de passer à une phase finale de pressage, nous avons décidé de réaliser une dubplate (pour simplifier, une « gravure » d'un disque vinyle possédant une bonne qualité sonore mais rapidement altérable). Celui-ci contient un timecode simple, c'est-à-dire une sinusoïde déphasée entre les 2 voies. La première chose à faire, est simplement d'enregistrer le disque dans différentes conditions et d'observer les différentes altérations que peut prendre le signal (à l'opposé d'un format numérique qui ne doit théoriquement pas en fournir).

7.1 Lecture normale

Etudions tout d'abord, la lecture normale. Dans un premier temps, on peut constater la qualité générale de sortie du signal : en effet on constate très peu de bruit autour du signal. On peut également noter que le déphasage n'est pas tout à fait à la hauteur de celui réalisé numériquement, en effet, il n'y a pas tout à fait $\frac{1}{4}$ de période de différence. Cependant cela ne devrait pas être vraiment très gênant dans la mesure où le déphasage est bien présent. Deuxième remarque, l'oscillation générale de l'ensemble du signal qui rend la détection de l'amplitude peut aisée.

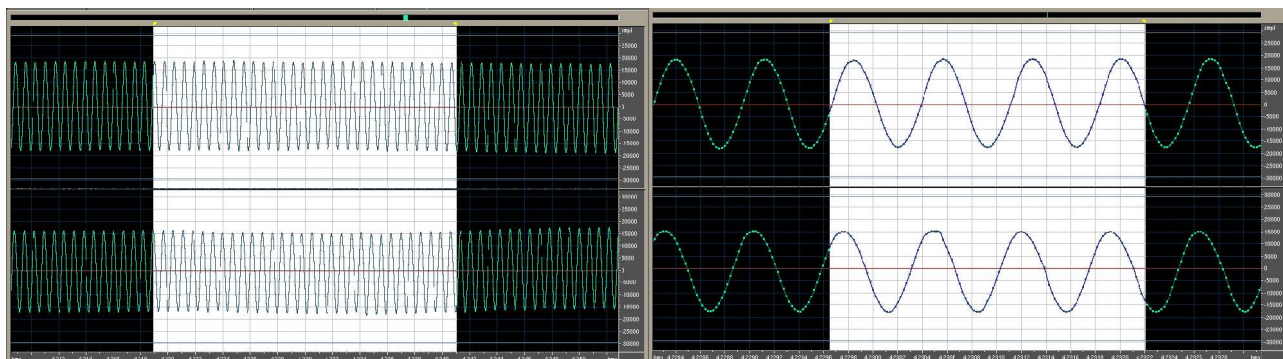


Illustration 6 - Enregistrement d'une sinusoïde (1)

Illustration 7 - Enregistrement d'une sinusoïde (2)

Je n'ai pas d'image des enregistrements des 2 timecodes précédemment évoqués, mais le résultat est très mauvais, il n'y a aucune chance de pouvoir utiliser le système de positionnement. Peut-être est ce dû au fait que ce ne sont que des dubplates et non des vrais vinyles pressés ?

7.2 Arrêt lent

Ensuite, on procède à un arrêt (relativement lent) de la rotation du disque. Ici, on constate d'une part que l'allure générale possède quelques problèmes d'amplitude, en effet à deux reprises, le signal forme une « bosse » plutôt inexplicable mais dont il faut tenir compte. Le signal baisse également progressivement en intensité, concrètement on l'entend, lorsque qu'on arrête le disque, le son est de moins en moins fort.

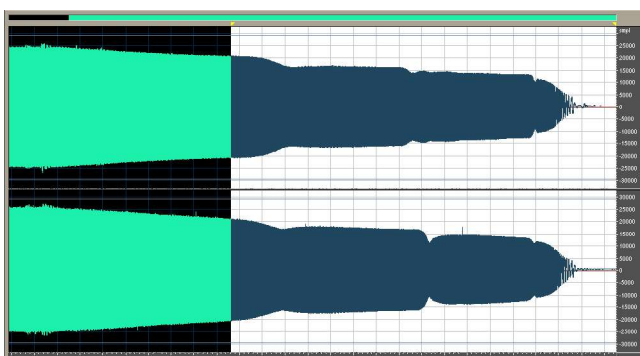


Illustration 8 - Arrêt lent de la platine (1)

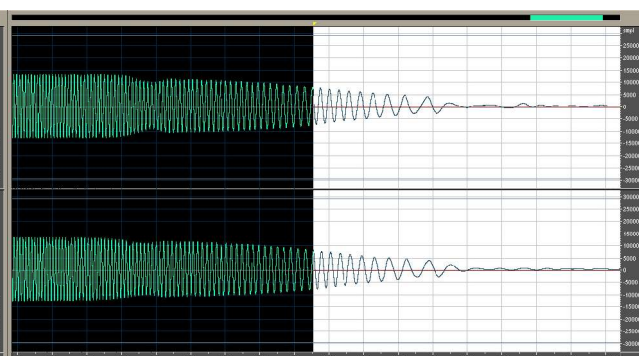


Illustration 9 - Arrêt lent de la platine (2)

7.3 Pose de cellule

Dans le cas suivant, on procède à la pose de la cellule alors que le disque est entrain de tourner, ce que l'on fait régulièrement si l'on cherche un passage spécifique dans un morceau de musique. Dès l'impact de la cellule avec le disque, le signal se forme a peu de chose prêt correctement, en tout cas, l'allure générale est présente. Il y a cependant de gros écarts d'amplitude donnant des saturations fortes et donc une perte importante de signal. Cette première phase dure environ 150 ms. Ensuite on peut noter l'oscillation très prononcée de l'ensemble de la courbe. Ce phénomène est particulièrement remarquable durant un peu moins d'une seconde.

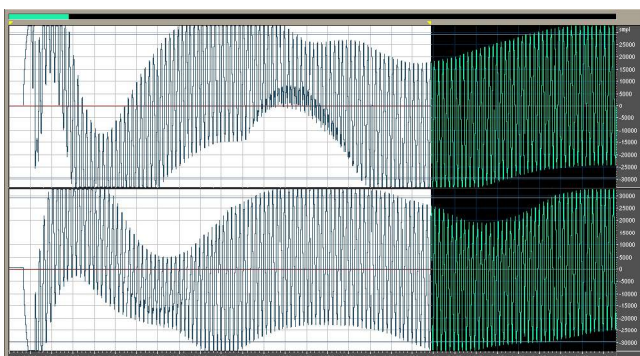


Illustration 10 - Pose de cellule (1)

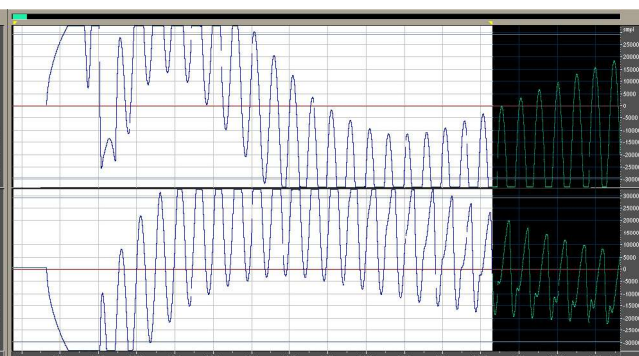


Illustration 11 - Pose de cellule (2)

7.4 Scratch

Dernier test : le « scratch ». On entend par cela, un changement rapide de sens de rotation avec des accélérations et des décélérations plus que prononcées. Dans ce test, on réunit pratiquement tout les problèmes rencontrés dans les précédents : forte oscillations de l'allure générale, risque de saturation lors des changements de vitesse rapide, déformations de la pointes des sinusoïdes. Cependant, on notera peu de problème lors du changement de sens, la courbe est a peine déformée, et cela est normal puisque le déphasage s'inverse.

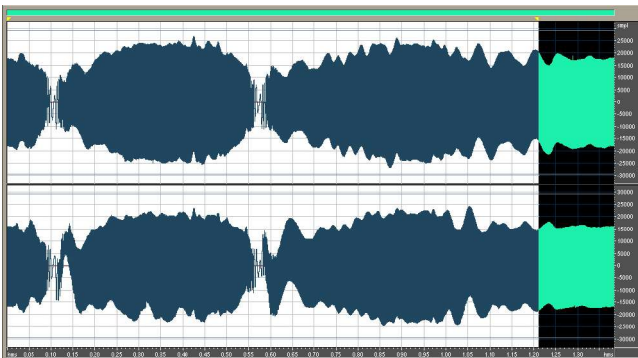


Illustration 12 - Scratch (1)

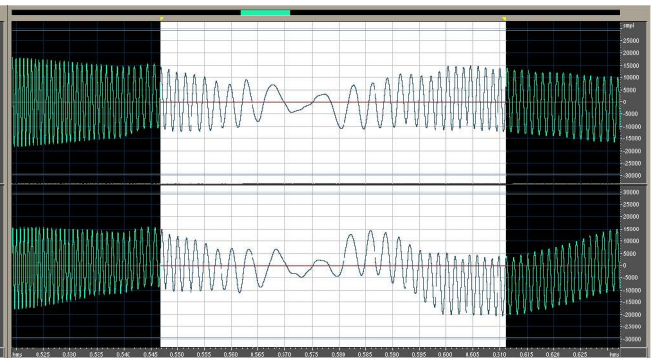


Illustration 13 - Scratch (2)

8 Le timecode final : un travail sur la forme et la fréquence

8.1 Vue générale

Cette partie va vous présenter le timecode final, celui qui est pressé sur un disque vinyle. Il tente d'utiliser plusieurs notions vu dans les timecode précédent. La forme de ce timecode est la suivante :

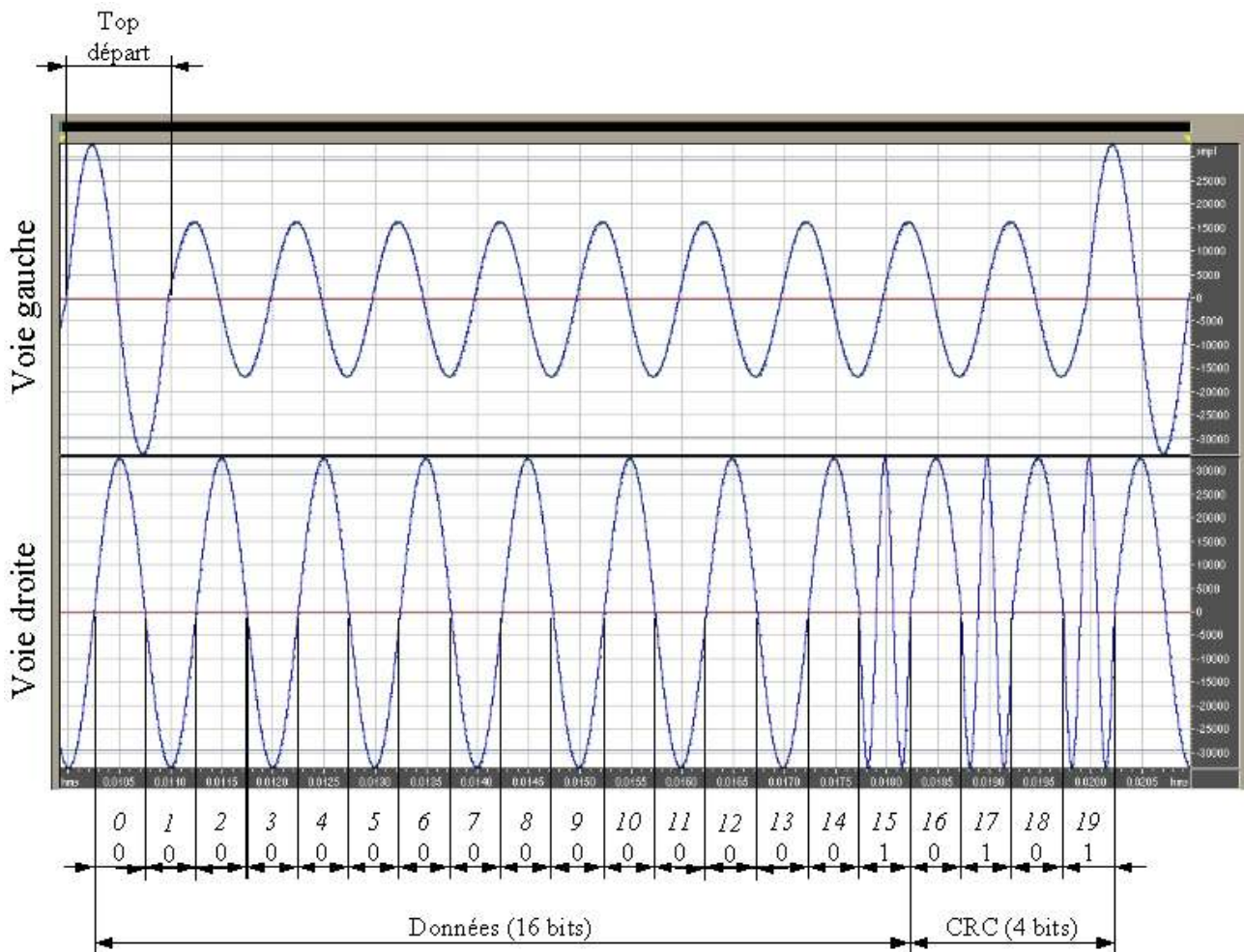


Illustration 14 - Timecode utilisant la différence d'amplitude et de fréquence pour coder la position

On utilise ici 2 formes distinctes mais quand même liées entre la voie gauche et la voie droite.

8.2 Vitesse de rotation

Le premier problème est celui de la vitesse de rotation du disque : on la détecte via la voie de gauche qui est une sinusoïde à 1kHz.

8.3 Sens de rotation

Ensuite, il faut détecter le sens : la voie de droite est décalée d'un quart de période par rapport à celle

de gauche. Attention cependant, parfois, la sinusoïde de la voie de droite est cadencé à 3kHz, des fronts « inexacts » apparaissent. Il faut toujours se référer à la voie de gauche qui est la référence en matière de fréquence de rotation. L'algorithme de recherche de sens sera celui-ci (de manière très simplifié) :

- On prend 2 front consécutifs de la voie de gauche
- On cherche le « milieu » de ces 2 fronts
- On cherche le front de la voie de droite le plus proche de ce milieu
- Si le premier front de gauche est le même que celui de droite, on tourne dans le sens normale sinon, c'est que le disque tourne dans le sens contraire.

8.4 Système de positionnement

Le gestion de la position s'effectue de la manière suivante. On va utiliser 10 périodes de la voie de droite pour « coder » une position. Avec 10 périodes, on a 20 demi-périodes qui représenteront chacune un bit. Ces 20 bits sont découpés en 16 bits de données de positionnement et 4 bits de données CRC permettant de vérifier l'intégrité des données précédentes. Pour détecter le début d'un ensemble de 20 bits, on utilise l'autre voie, celle de gauche. Cette dernière est constituée d'une sinusoïde de valeur maximum 16384 suivant un codage d'amplitude sur 16bits. On a placé tout les 10 périodes une période dont la valeur maximum est de 32768 (2 fois plus que la précédente). Cette différence d'amplitude est suffisamment importante pour être détecter sans trop de problèmes. C'est cette période qui est appelée « top départ » sur le schéma précédent.

Un bit 0 sera en fait une demi-période à 1KHz, un bit 1 sera une demi-période à 3KHz. Avec 16 bits de données, on peut donc coder 65536 positions sur le disque. Sachant que 10 périodes représentent à 1Khz 10 ms, on peut coder toutes nos valeurs sur 655 secondes, à savoir 10 min 55 seconde (valeur tout à fait acceptable pour le pressage sur disque).

La vérification d'intégrité de la trame de données est effectué via un algorithme de CRC-4. Tout les détails pour la recherche de ces 4 bits en fonctions de la trame et aussi la vérification de la validité des données à partir du CRC se trouve dans le document `tx5x-rosener-contrôle-crc.pdf`.

Bien entendu sur une durée de 10 périodes, la détection de la position ne sera pas très rapide. Elle sera cependant très sûre via le système de vérification de la trame codant la position. On estime qu'il faut au maximum 3 codes de position complet pour être certain de pouvoir déterminer la position. En effet, la première peut être incomplète, la 2è erronée mais la dernière sera certainement correcte. Cela représente 3×10 périodes, donc $3 \times 10 \text{ms} = 30 \text{ms}$.

8.5 Tests sur disque vinyle pressé

A faire

9 Références

Son-vidéo.com, vente en ligne de matériel sono

<http://www.son-video.com>