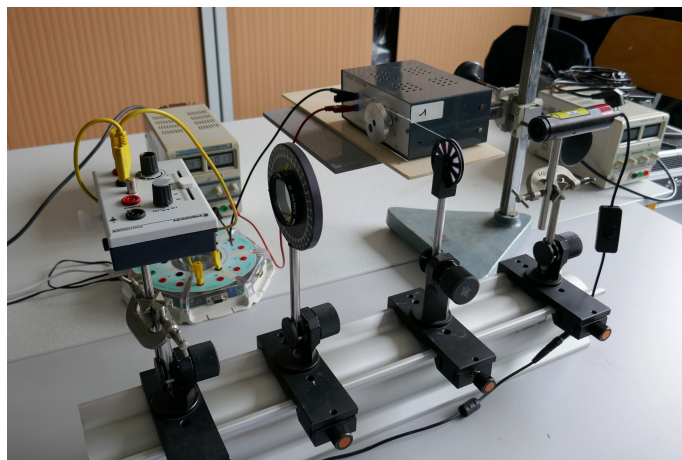


Effet stroboscopique et repliement de spectre

17 juin 2018



Etudiants :
Marie Bochet
Nicolas Brozzu
El Mehdi Fikrat
Alexandre Jacquemart
Guillaume Rajaut
Ghali Sakkat

Enseignant responsable du projet :
David Honoré

Date de remise du rapport : 18/06/2018

Référence du projet : STPI/P6/2018 - 17

Intitulé du projet : Effet stroboscopique et repliement de spectre

Type de projet : Biblio, modélisation, expérience

Objectifs du projet : L'objectif de notre projet de P6 était d'étudier le repliement de spectre et l'effet stroboscopique. Nous devons également mettre ces phénomènes en évidence à l'aide du matériel mis à disposition dans le laboratoire d'optique. Nous voulions enfin trouver des illustrations de l'effet strobocopique et en réaliser quelques unes.

Mots-clés du projet : optique - stroboscope - spectre

Table des matières

I	Le repliement de spectre	6
1	Le théorème de Nyquist-Shannon	6
1.1	Le théorème	6
1.2	Démonstration	7
1.3	Conséquences	7
2	Le repliement de spectre	7
2.1	Le montage expérimental	7
2.2	Le protocole expérimental	8
2.3	Résultats	8
II	L'effet stroboscopique	9
1	Le principe théorique de l'effet stroboscopique	9
2	Etude d'un stroboscope issu du commerce	10
3	Fabrication d'un stroboscope en laboratoire et étude de celui-ci	12
III	Illustrations de l'effet stroboscopique	15
1	Expérience visuelle basée sur la rotation d'un disque	15
2	Expérience réalisée à l'aide d'une caméra	16
3	Des exemples de la vie de tous les jours	17
3.1	Plusieurs utilisations de l'effet stroboscopique	17
3.2	Le « rolling shutter »	17
3.3	Les dangers de l'effet stroboscopique	18

Introduction

Le phénomène de repliement de spectre apparaît dans de nombreux domaines. Cet effet modifie l'échantillonnage d'un signal, le rendant dans certains cas complètement différent du signal original. Il apparaît notamment lors de l'échantillonnage de signaux sinusoïdaux : c'est le repliement de spectre temporel. On note la découverte de ce phénomène lors des débuts de l'ingénierie radio. L'utilisation des récepteurs superhétérodynes (voir définition en annexe) pour transférer des signaux multiples sur de plus basses fréquences par hétérodyne, peut faire apparaître un signal non voulu assez puissant pour perturber la réception du signal désiré.

L'effet stroboscopique a été notre sujet d'étude. C'est un des cas particuliers du repliement de spectre temporel. Ce phénomène visuel provient de la représentation d'un mouvement continu en une série d'échantillons courts et instantanés. Or toute mesure physique est basée sur une fréquence d'échantillonnage. Ce phénomène peut donc survenir pendant une expérience et il convient alors d'en prendre compte lors des mesures.

On peut observer cet effet à l'aide d'un stroboscope : un stroboscope est un dispositif capable d'émettre de la lumière de manière saccadée, en alternant les phases obscures et les phases lumineuses. Ses caractéristiques sont l'intensité et la durée des flashes ainsi que leur fréquence. Le premier stroboscope est conçu par Joseph Plateau en 1836. Mais le stroboscope électrique est breveté par l'ingénieur français Étienne Œhmichen en 1917.

Cet outil était très utilisé au XXème siècle par les mécaniciens. Il permettait d'étudier les mouvements de va et vient des soupapes et d'y effectuer des réglages. On l'utilise également lors des crashs tests d'automobiles.

Il existe deux manières d'observer l'effet stroboscopique. La première est d'éclairer un mouvement, périodique ou non, à l'aide d'un stroboscope. Les stroboscopes sont par exemple utilisés dans les discothèques. La deuxième façon consiste en l'échantillonnage du signal lumineux généré par un stroboscope.

Lors de ce projet, nous avons dû organiser notre travail en groupe. Dans un premier temps, nous avons tous fait quelques recherches sur le sujet afin de bien cerner le projet et les différents axes à développer. Ensuite, nous nous sommes répartis le travail par binôme selon l'organigramme suivant :

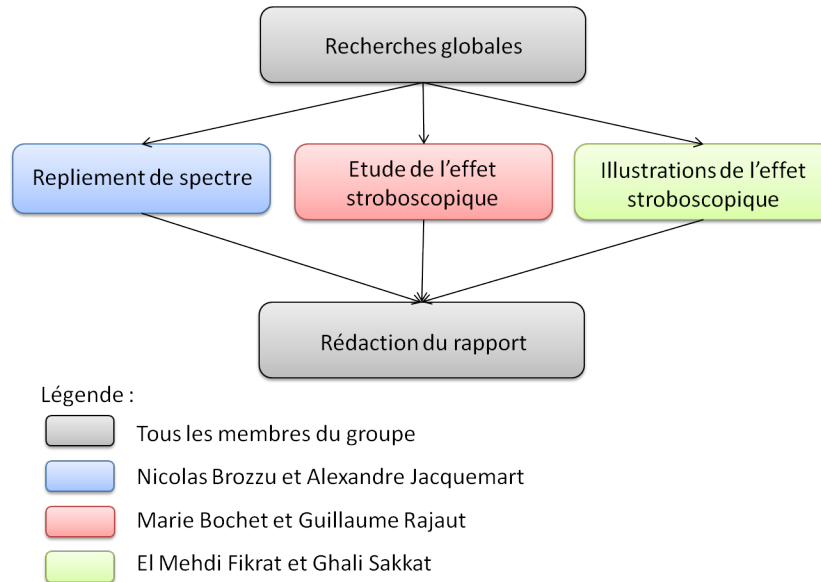


FIGURE 1: Organigramme du projet

Cependant, la première partie, qui portait sur le repliement de spectre, a été terminée rapidement. De ce fait, Alexandre a rejoint le groupe qui travaillait sur l'étude de l'effet stroboscopique et Nicolas celui qui traitait les illustrations de l'effet stroboscopique. Une fois les expériences réalisées et les résultats voulus obtenus, nous avons chacun rédigé les parties du rapport qui concernaient le travail que nous avons réalisé.

Première partie

Le repliement de spectre

1 Le théorème de Nyquist-Shannon

1.1 Le théorème

Durant les débuts de l'essor de l'informatique, les informaticiens se sont heurtés à de nombreux soucis. C'est durant cette période que de grands noms tels que Turing, Nyquist et Shannon se firent connaître du monde scientifique.

L'un des problèmes rencontrés durant cette époque concerne la transmission de l'information. Les informaticiens se rendirent vite compte qu'un signal envoyé pouvait être perçu différemment par le récepteur. En 1927 Nyquist conjecture qu'un signal devait être correctement échantillonné afin d'être correctement perçu par le récepteur. Il fixa la limite à au moins 2 fois la fréquence la plus haute du signal. Ce n'est qu'en 1949 que Shannon

démontra cette conjecture, ce qui donna lieu au théorème de Nyquist-Shannon :

Soit f un signal périodique, soit f_{max} la fréquence maximale du signal et f_e la fréquence d'échantillonnage, et T , T_{max} et T_e les périodes associées, alors :

$$f \text{ est correctement échantillonné} \Leftrightarrow f_e \geq 2f_{max} \Leftrightarrow 2T_e \leq T_{max}$$

1.2 Démonstration

Soit $s(x)$ une fonction. La transformée de Fourier $\hat{s}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(x)e^{-i\omega x} dx$ décrit les fréquences f que s contient grâce à $\omega = 2\pi f$. La transformée de Fourier inverse donne les valeurs de $s(x)$ en fonction de $\hat{s}(\omega)$: $s(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{s}(\omega)e^{i\omega x} d\omega$.

Or les signaux étudiés sont des signaux composés d'un nombre fini de fréquences dont la plus élevée en valeur absolue est f_{max} , associée à la pulsation $\omega_{max} = 2\pi f_{max}$. Par conséquent :

$$s(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_{max}}^{+\omega_{max}} \hat{s}(\omega)e^{i\omega x} d\omega$$

Recherchons la valeur des échantillons e_n régulièrement espacés prenant les valeurs de $s(x)$ pour x multiple de la demi-période correspondant à f_{max} ; $n = \frac{n}{2f_{max}}$ où n est un nombre entier :

$$e_n = s\left(\frac{n}{2f_{max}}\right) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_{max}}^{+\omega_{max}} \hat{s}(\omega)e^{i\omega \frac{n}{2f_{max}}} d\omega = c_{-n}(f)$$

Avec $c_{-n}(f)$ le n -ième coefficient de Fourier de la série. Ainsi pour $f_e > 2f_{max}$ les coefficients sont préservés, et donc la restitution du signal donné par

$$\hat{s}(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n(f)e^{i\omega \frac{n}{2f_{max}}}$$

est correctement effectuée.

1.3 Conséquences

Si f_{max} est une fréquence autre que la fréquence maximale, alors le signal est correctement échantillonné jusqu'à cette fréquence.

Si $f_e \leq 2f$, alors le signal reçu sera perçu complètement différent du signal émis, on a affaire à un repliement de spectre.

2 Le repliement de spectre

2.1 Le montage expérimental

Le montage mis en oeuvre afin de percevoir le phénomène de repliement de spectre est composé d'un Générateur Basse Fréquence, d'une rosace d'acquisition ainsi que d'un ordinateur équipé du logiciel Synchronie monté comme suit :

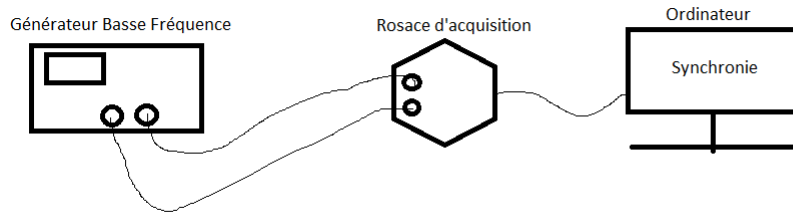


FIGURE 2: Le montage expérimental

2.2 Le protocole expérimental

Avec ce montage, nous effectuons le protocole suivant :

- On sélectionne la forme du signal (sinusoïdale, carrée ou triangulaire) sur le GBF
- On sélectionne la fréquence dudit signal sur le GBF
- Sur l'ordinateur, dans le logiciel Synchronie, on choisit une période d'échantillonnage très faible afin d'être sûr de bien échantillonner le signal
- On effectue une acquisition du signal, puis on lui applique une transformation de Fourier afin d'obtenir le spectre du signal
- Sur l'ordinateur, dans le logiciel Synchronie, on choisit une période d'échantillonnage trop élevée afin de montrer que le théorème de Nyquist-Shannon n'est pas applicable dans tous les cas. (on choisit $T_e > T/2$)
- On applique l'étape 4 au signal mal échantillonné et on compare les spectres des deux signaux.

2.3 Résultats

Pour nos résultats, nous avons commencé par un signal sinusoïdal de période $T = 10\text{ ms}$ que nous avons échantillonné à $T_e = 1\text{ ms}$, donc correctement, puis à $T_e = 100\text{ ms}$, donc très mal échantillonné.

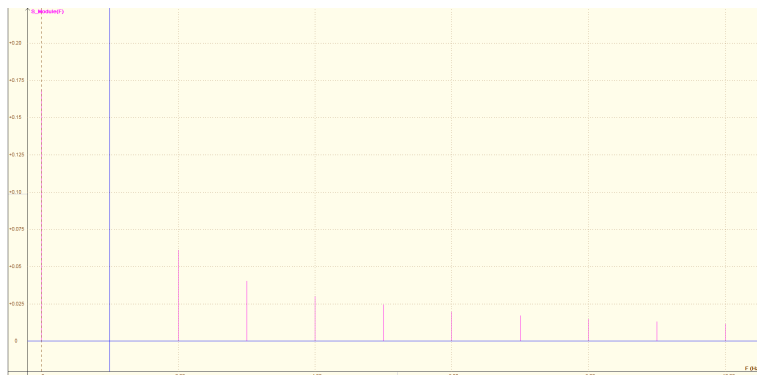


FIGURE 3: Test 1 : Le spectre du signal correctement échantillonné, Amplitude (F) en fonction de la fréquence (Hz)



FIGURE 4: Test 1 : Le spectre du signal mal échantillonné, Amplitude (F) en fonction de la fréquence (Hz)

On remarque bien une mauvaise restitution du deuxième signal par rapport au premier.

Nous avons également obtenu d'autres résultats à partir de signaux de formes différentes, que nous avons mis en annexe du rapport. On remarque alors 2 choses :

- plus un signal est complexe (triangle/carré), plus il aura tendance à être restitué dans un signal complètement différent.
- plus la différence entre la période d'échantillonnage et la période maximale est grande, plus le spectre des fréquences du signal échantillonné tranche avec celui du signal correctement échantillonné.

Deuxième partie

L'effet stroboscopique

1 Le principe théorique de l'effet stroboscopique

L'effet stroboscopique est un cas particulier du repliement de spectre, et plus précisément, c'est un repliement temporel. Il se base sur l'éclairage périodique d'un mouvement lui aussi périodique. Il faut adapter la période entre deux courts flashes de lumière et la période du mouvement à étudier pour observer l'effet stroboscopique. Le dispositif lumineux qui émet ces flashes est appelé un stroboscope.

Il y a alors 3 cas possibles : (on note T la période du mouvement et T_f la période du flash)

- 1^{er} cas : $T = T_f$. Dans ce cas, la lumière éclaire le système lorsqu'il en est au même point de son mouvement périodique. Ainsi, le système semble immobile.

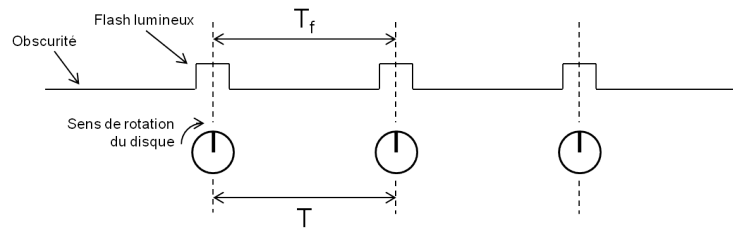


FIGURE 5: Schéma explicatif de l'effet stroboscopique avec $T = T_f$

- 2^{ème} cas : $T_f > T$. Ici, à chaque flash, le système est à une position légèrement plus avancée du mouvement. Le système semble donc suivre le mouvement réel en étant ralenti.

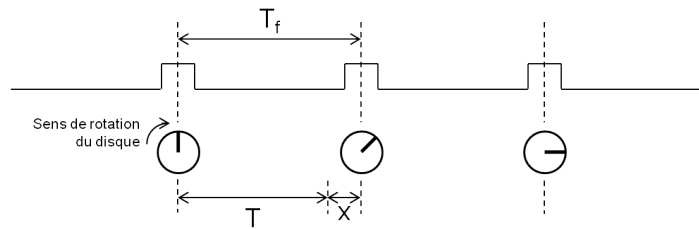


FIGURE 6: Schéma explicatif de l'effet stroboscopique avec $T_f > T$

- 3^{ème} cas : $T_f < T$. Enfin, dans cette situation, à chaque flash le système est à une position précédant légèrement la position au moment du flash précédent. Le système semble donc remonter le mouvement réel.

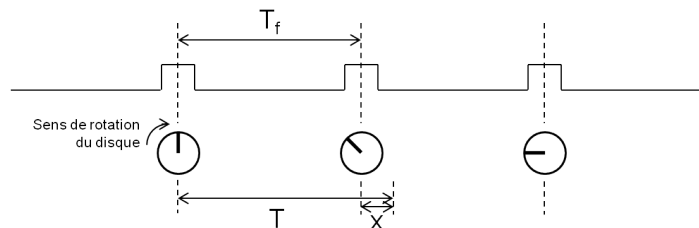


FIGURE 7: Schéma explicatif de l'effet stroboscopique avec $T_f < T$

2 Etude d'un stroboscope issu du commerce

Au début de notre projet, un stroboscope issu du commerce nous a été prêté. La fréquence de ce stroboscope est réglable à l'aide d'une simple molette, ce qui implique

qu'on ne peut pas connaître sa fréquence. Il a donc fallu mettre au point une méthode pour évaluer cette fréquence. Pour la mesurer, il faut utiliser un logiciel d'acquisition : on réalise ainsi un montage constitué du stroboscope et d'un capteur. Pour que l'acquisition des flashes soit exploitable, il faut réaliser cette expérience dans le noir. On fixe la fréquence d'acquisition du logiciel la plus haute possible, et on obtient alors une acquisition précise du signal, à partir de laquel on peut trouver la période des flashes lumineux à l'aide d'une fonctionnalité du logiciel Synchronie prévue à cet effet.

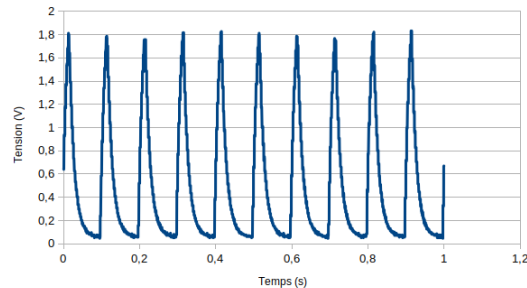


FIGURE 8: Signal du stroboscope du commerce échantillonné avec une fréquence grande

Une fois la fréquence du stroboscope déterminée, nous avons tenté de mettre en avant l'effet stroboscopique. Pour cela, nous avons utilisé le même montage que pour la manipulation précédente. Il faut alors jouer sur la fréquence d'acquisition pour observer l'effet de repliement de spectre. Pour cela, on règle la fréquence d'échantillonnage proche de la fréquence des éclairs.

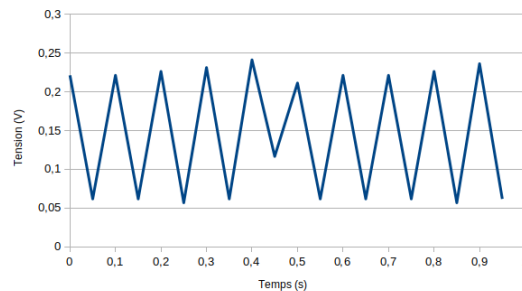


FIGURE 9: Signal du stroboscope du commerce échantillonné avec une fréquence deux fois plus grande que la fréquence des flashes

Le but est de ne pas respecter le théorème de Shannon, dit théorème d'échantillonnage : *La représentation discrète d'un signal exige des échantillons régulièrement espacés à une fréquence d'échantillonnage supérieure au double de la fréquence maximale présente dans ce signal.*

En sélectionnant une fréquence d'échantillonnage deux fois plus grande que la fréquence des flashes, on obtient une courbe en pics. Cette courbe nous donne la fréquence des flashes car à chaque période correspond deux points d'échantillonnage : un quand la

courbe originale est quasi-nulle, et un quand on observe un pic de tension. Le repliement temporel n'est pas perçu dans ce cas, la courbe perd simplement en précision.

Lors de nos expériences avec le stroboscope, nous avons rencontré quelques ennuis. Il n'est pas possible de régler la fréquence des flashes à une fréquence précise, c'est un stroboscope bas de gamme. De plus nous ne savions pas si ce stroboscope fonctionnait précisément quant aux flashes et à leur période. Ainsi nous avons fabriqué notre propre stroboscope afin d'approfondir notre étude de l'effet stroboscopique.

3 Fabrication d'un stroboscope en laboratoire et étude de celui-ci

L'obstacle principal que nous avons rencontré pour étudier le stroboscope du commerce est que nous n'avions pas la possibilité de connaître facilement la fréquence des flashes lumineux. C'est pour cela que nous avons décidé de réaliser notre propre stroboscope avec le matériel disponible en laboratoire d'optique. Le principe de notre montage était le suivant : un rayon de lumière continue était orienté vers une roue opaque dans laquelle nous avons formé une fente. De cette façon, la lumière n'arrive au capteur, situé derrière la roue, que lorsque le laser est en face de la fente.

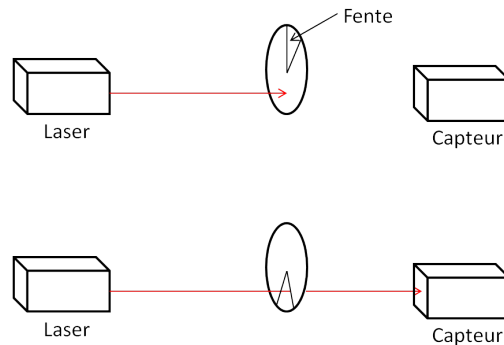


FIGURE 10: Schéma explicatif du montage

Pour faire tourner la roue à vitesse constante, nous l'avons reliée à un moteur à l'aide d'une ficelle. Nous avons également ajouté un polariseur après la roue afin d'éviter de saturer le capteur, ce qui l'abîmerait. Nous avons également relié le capteur à l'ordinateur afin de pouvoir acquérir les mesures sur le logiciel « Synchronie ».

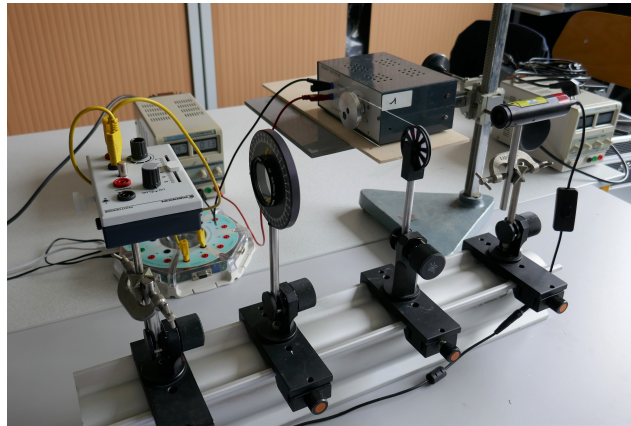


FIGURE 11: Photo du montage réalisé

Nous avons ensuite étudié ce stroboscope afin d'établir un rapport entre la tension initiale délivrée par le GBF et la fréquence des flashes obtenue. Grâce au générateur nous pouvons régler la fréquence du moteur avec précision à partir de l'écran du générateur indiquant la tension fournie. En effet nous avons pu trouver une relation physique entre la tension du générateur et la fréquence des flashes lumineux : $F = 0,753*U+0,185$. Pour obtenir cette équation nous avons relevé la fréquence des flashes pour plusieurs valeurs de tension. Nous avons obtenu une courbe s'approchant fortement d'une droite. Nous avons réalisé une régression linéaire afin de trouver l'équation. Le logiciel nous indiquait un coefficient de corrélation très bon : $R = 0,9994 > 0,995$. On est donc sûr de pouvoir utiliser cette équation pour la suite. La précision du générateur et la simplicité de notre montage nous permettent donc d'obtenir des résultats fiables. Grâce à cette manipulation, nous avons pu, dans l'expérience suivante, régler notre stroboscope sur la fréquence que l'on voulait en réglant le générateur sur la tension correspondante.

Nous avons ainsi pu observer l'effet stroboscopique. Le signal original a une période de 480,3 ms :

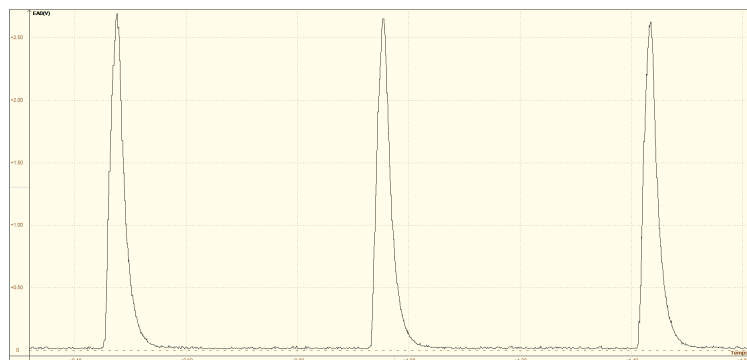


FIGURE 12: Signal original du stroboscope

On a alors réglé la période d'échantillonnage à 490 ms soit légèrement plus que la période des flashes.

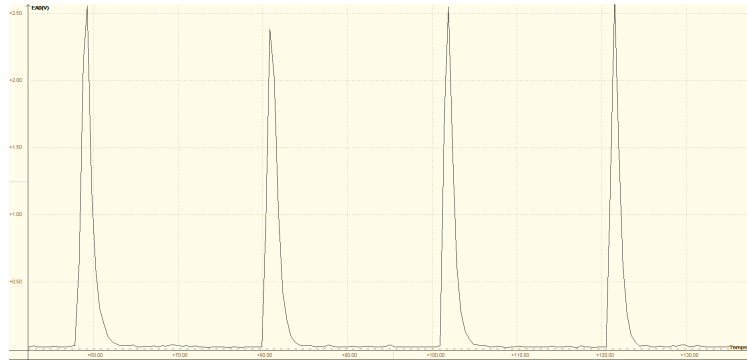


FIGURE 13: Signal du stroboscope avec une période d'échantillonnage de 490 ms

On obtient alors un signal de même forme que celui d'origine, mais sa période est bien plus grande : 21,28 s soit 44 fois plus que l'original. En réglant une fréquence d'échantillonnage plus petite que la fréquence des éclairs, on obtient un signal de période bien plus grande que la période originale. Pour autant, le signal obtenu n'est pas saccadé et correspondrait à un signal de fréquence de flashes inférieure.

On voit bien là la confusion que génère l'effet stroboscopique dans l'acquisition de signaux. Dans notre étude la fréquence des flashes était autour de 10 Hz, une fréquence très faible devant la fréquence d'acquisition du logiciel. Mais pour des systèmes plus complexes comme par exemple la Li-Fi (voir définition en annexe), la fréquence des flashes est bien plus grande : il faut prendre en compte l'effet stroboscopique et s'assurer que la fréquence d'échantillonnage soit supérieure au double de la fréquence maximale présente dans ce signal, d'après le théorème d'échantillonnage.

En réglant ensuite la période d'échantillonnage à 470 ms, soit un peu moins que la période des éclairs, on observe un signal semblable au précédent, mais inversé dans le temps. Sa période est de 20,44 s soit 42 fois plus grande que celle de l'original. C'est donc ce phénomène qui permet de « remonter le temps », bien que cette formule soit abusive : cet effet est visible uniquement pour les mouvements périodiques.

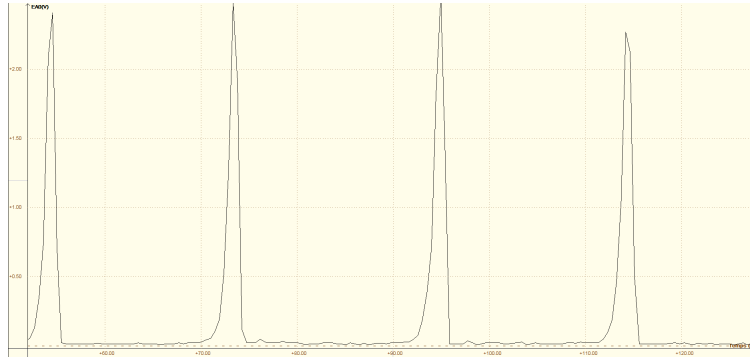


FIGURE 14: Signal du stroboscope avec une période d'échantillonnage de 470 ms

Troisième partie

Illustrations de l'effet stroboscopique

1 Expérience visuelle basée sur la rotation d'un disque

Pour réaliser la première expérience permettant d'illustrer l'effet stroboscopique, nous avons décidé de mettre en place un montage comportant un disque en rotation éclairé par le stroboscope du commerce. Au début, nous avons tenté de réaliser ce montage à l'aide d'un moteur électrique lié à un disque. Malheureusement, la vitesse de rotation de ce moteur n'était pas assez élevée pour apercevoir l'effet stroboscopique.

De ce fait, nous avons décidé d'utiliser une perceuse que nous avons lié à un disque grâce à une tige en métal. Nous avons par la suite imprimé un motif afin de le coller sur le disque. Une fois ce montage réalisé, nous avons réalisé une expérience permettant de mettre en avant l'effet stroboscopique.

Pour cela, nous avons plongé la pièce dans l'obscurité, et nous avons commencé à faire tourner le disque à une vitesse constante, puis nous avons éclairé le disque avec un stroboscope. Dans un premier temps, nous pouvions voir le motif tournant dans le sens réel de la rotation du disque. Puis, en changeant régulièrement la fréquence du stroboscope, nous avons pu apercevoir le motif se stabiliser et finalement le voir tourner dans le sens inverse. Cette observation est une illustration de l'effet stroboscopique. Cependant, le fait de ne pas connaître la fréquence exacte du stroboscope a légèrement compliqué la réalisation de cette expérience. En effet, si nous avions pu connaître cette fréquence, nous aurions pu régler le stroboscope aux périodes permettant de voir au mieux l'effet stroboscopique.



FIGURE 15: Photo du montage de l'expérience

2 Expérience réalisée à l'aide d'une caméra

Cette expérience consiste à trouver la fréquence de visualisation du stroboscope, la fréquence du stroboscope ainsi que la fréquence de la caméra.

Nous avons placé sur un rail un stroboscope en face d'un papier avec des fentes verticales placées au même niveau que la source de lumière puis on a placé deux polariseurs, une lentille ainsi que la caméra.

En utilisant Caliens, quand le stroboscope est éteint la courbe est plate, nous n'avons remarqué aucun changement. Quand le stroboscope est allumé, nous remarquons des impulsions au niveau de la courbe à chaque flash lumineux. Plus nous augmentons la fréquence du stroboscope, plus la vitesse des impulsions diminue.

Arrivé à un certain point, les impulsions stagnent lorsque la fréquence du stroboscope devient un multiple de la fréquence de l'acquisition de la caméra.

Grâce à l'effet stroboscopique, nous pouvons calculer la fréquence d'acquisition de la caméra et pour cela nous mesurons la fréquence de stroboscope en utilisant Synchronie. Nous obtenons une fréquence de 50Hz pour la fréquence du stroboscope.

Sur Caliens, avec la fréquence du stroboscope calculée précédemment, la courbe représentant la lumière captée par la caméra augmente puis diminue lentement. Nous avons alors pu calculer la fréquence de ce mouvement : c'est la fréquence de visualisation qui est la conséquence du repliement de spectre. En chronométrant pendant 62 secondes, la courbe est montée et descendue 20 fois ce qui nous a permis de déterminer la fréquence de visualisation qui est égale à 0,32Hz.

La connaissance de ces deux fréquences peut alors nous permettre de calculer la fréquence d'acquisition de la caméra utilisée pour ce montage.

Pour cela, on calcule que dans chaque période de visualisation, il y a 156,25 périodes du stroboscope. La période de la fréquence d'acquisition de la caméra est donc égale à $1 + 1/156,25$ périodes du stroboscope. On applique juste le calcul et on obtient finalement une fréquence de 49,6 Hz pour l'acquisition de la caméra. Ce résultat est cohérent car la fréquence de visualisation étant proche de 0, cela signifie que l'acquisition et le stroboscope étaient presque en phase.

3 Des exemples de la vie de tous les jours

3.1 Plusieurs utilisations de l'effet stroboscopique

L'effet stroboscopique est utile pour observer autant des mouvements périodiques que les mouvements non périodiques. Concernant les mouvements périodiques, on peut l'utiliser pour observer le mouvement au ralenti en rapprochant la fréquence du stroboscope (donc celle de l'échantillonnage) de la fréquence du mouvement de l'objet. De même, éclairer un objet avec un stroboscope peut permettre de déterminer la fréquence de la répétition de son mouvement et bien d'autres caractéristiques (vitesse, période ...), la fréquence de l'objet étant la fréquence la plus élevée du stroboscope pour laquelle l'objet paraît immobile. Pour les mouvements non périodiques, décomposer un mouvement à l'aide d'un stroboscope permet de l'observer de manière plus analytique. En effet la décomposition d'un mouvement en plusieurs images à des positions successives, à l'aide d'un stroboscope, permet d'annuler le phénomène de persistance visuelle de la rétine. L'œil humain ne fonctionne pas comme une caméra qui prend des images successives indépendantes, mais lorsque l'œil "capture" une image, l'image précédente est encore là, on dit qu'elle persiste. De ce fait, lorsqu'on voit un objet se déplacer rapidement, la superposition des images provoque un effet de flou. Or cet effet de flou peut rendre difficile de discerner le mouvement d'un objet. En l'éclairant avec un stroboscope, les images successives de l'objets sont trop espacées pour qu'elles se superposent dans l'œil, on enlève ainsi l'effet de flou, ce qui permet d'observer le mouvement plus clairement. Par exemple, certains basketteurs s'entraînent avec un stroboscope pour mieux voir et étudier le mouvement du ballon.



FIGURE 16: Décomposition stroboscopique du mouvement d'un ballon

3.2 Le « rolling shutter »

Un effet qu'on observe dans la vie courante est l'effet Rolling Shutter, (ou Obturateur déroulant), qui découle de l'effet de repliment de spectre. Lorsqu'on filme ou qu'on photographie un objet ayant une grande vitesse, on observe des distorsions particulières. Cela est dû à la manière de fonctionner de certaines caméras et appareils photos. En effet pour

capturer une image, au lieu de capturer l'image dans sa totalité d'un coup, elles procèdent par balayage, c'est-à-dire que le capteur détecte les photons de haut en bas ou de gauche à droite. A priori, le balayage est très rapide (environ 10 millisecondes par rangée de pixels) donc on ne s'aperçoit pas qu'il a un décalage temporel entre les différentes positions de l'image. Mais cela change lorsque l'on capture des phénomènes très rapides. Dans ce cas, il peut y avoir une modification de ce qu'on observe pendant le balayage du capteur, ce qui provoque une image distordue. Or ce phénomène est très similaire à un repliement de spectre. On peut dire que c'est un phénomène analogue à celui de l'effet stroboscopique qui a lieu avec chaque ligne de pixels.



FIGURE 17: Effet rolling shutter avec un objet en rotation : une hélice d'avion



FIGURE 18: Effet rolling shutter avec un objet en translation

3.3 Les dangers de l'effet stroboscopique

Dans la plupart des pays du monde, l'électricité délivrée sur le secteur est sous forme alternative avec $f=50$ Hz ou 60 Hz. En conséquence, des lampes branchées à un courant alternatif seront alimentées en électricité 50 ou 60 fois par seconde, ainsi (selon le type d'ampoule), elles s'allument et s'éteignent 50 ou 60 fois par seconde. Ce phénomène n'est

pas visible à l'œil nu étant donnée la persistance rétinienne de l'œil. Cela peut poser un problème dans certaines usines, dans lesquelles certaines machines possèdent des lames tournantes. Si les lames ont une fréquence de rotation multiple de celle de l'électricité qui alimente les lampes qui les éclaire, alors l'effet stroboscopique peut donner l'impression que les lames ne tournent pas, alors qu'elles peuvent tourner à des vitesses très importantes, ce qui implique évidemment un risque d'accident. La solution est alors soit de veiller à avoir des fréquences de rotations non multiples de la fréquence du secteur, ou de mettre des ampoules ayant un phénomène de clignotement réduit (comme des lampes à incandescence).

Conclusion

Lors de ce projet, nous avons tout d'abord dû nous documenter sur le repliement de spectre et l'effet stroboscopique, que nous ne connaissions pas du tout. Nous avons ensuite pu réaliser plusieurs montages afin de les étudier. Nous avons même réalisé notre propre stroboscope, ce qui nous a permis de bien comprendre le principe de ce genre de matériel. Nous avons enfin réalisé quelques expériences permettant de mettre en évidence et illustrer ces phénomènes, et également trouvé des exemples de leur utilisation dans la vie quotidienne.

Concernant l'apport personnel, cet E.C. projet nous a tout d'abord permis d'approfondir nos connaissances dans un domaine précis d'optique. Il nous a également aidé à nous habituer à la notion de projet de groupe, ainsi que toute l'organisation que cela peut impliquer. Nous avons en effet dû apprendre à gérer notre temps afin de finir ce projet dans les temps, mais aussi à communiquer entre nous sur nos avancées dans les différentes parties sur lesquelles nous travaillons. Enfin, nous avons dû faire un travail de synthétisation pour rédiger ce rapport et préparer l'oral, ces derniers devant contenir le résumé de nos expériences et des résultats que nous avons obtenus. Pour approfondir le projet, nous pourrions tenter de réaliser un montage de stroboscope plus précis, et éventuellement plus facile d'utilisation que celui que nous avons réalisé. Nous pourrions également étudier d'autres conséquences du repliement de spectre.

Bibliographie

- « Why Do Cameras Do This? (Rolling Shutter Explained) - Smarter Every Day 172 », SmarterEveryDay, [date de consultation : 13/04/2018]
<https://www.youtube.com/watch?v=dNVtMmLlnoE>
- « Effet stroboscopique », Wikipédia, [date de consultation : 16/02/2018]
https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_stroboscopique
- « Stroboscope », Wikipédia, [date de consultation : 23/02/201].
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Stroboscope>
- « Repliement de spectre », Wikipédia, [date de consultation : 16/02/2018]
https://fr.wikipedia.org/wiki/Repliement_de_spectre
- « Aliasing », Wikipédia, [date de consultation : 16/03/2018]
<https://en.wikipedia.org/wiki/Aliasing>
- « Wagin-wheel effect », Wikipédia, [date de consultation : 16/03/2018]
https://en.wikipedia.org/wiki/Wagon-wheel_effect
- « Rolling shutter », Wikipédia, [date de consultation : 25/05/2018]
https://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_shutter
- « Photographie : le rolling shutter effect », Couleur science, [date de consultation : 25/05/2018]
<https://couleur-science.eu/?d=2017/12/07/05/23/18-photographie-le-rolling-shutter-effect>
- «Rolling Shutter Explained on the Cheap» - standupmaths, [date de consultation : 25/05/2018]
<https://www.youtube.com/watch?v=nP1elMR5qjc>
- « L'ondoscope » [date de consultation : 23/03/2018]
<http://diaprojection.unblog.fr/2011/09/15/londoscope-et-la-projection-stroboscopique/>
- «Stroboscopie sur un disque en rotation uniforme»- Département de Physique CHAMPVILLE, [date de consultation : 20/04/2018]
<https://www.youtube.com/watch?v=0kgWvQ1DXS8>
- « ADET 54 L'effet stroboscopique des éoliennes » [date de consultation : 18/05/2018]
<http://www.adet54.fr/index.php/l-effet-stroboscopique>
- « La stroboscopie : qu'est-ce que c'est ? » [date de consultation : 18/05/2018]
<http://lesillusionsdoptique-tpe.e-monsite.com/pages/la-stroboscopie-qu-est-ce-que-c-est.html>

Annexes

Annexes de la partie I. 2) Le repliement de spectre :

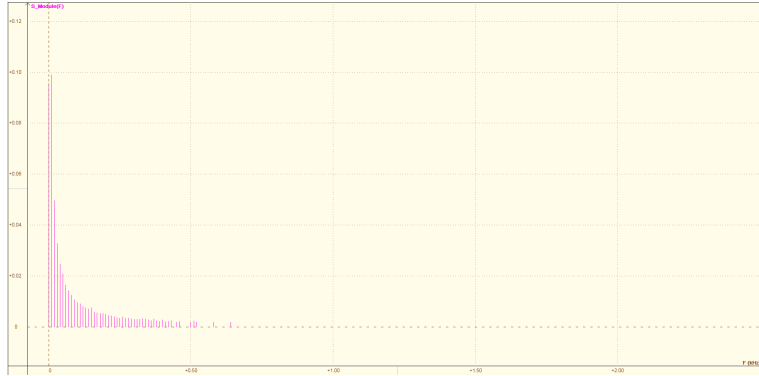


FIGURE 19: Test 3 : Un signal triangle de période 1ms échantillonné à 0.1ms

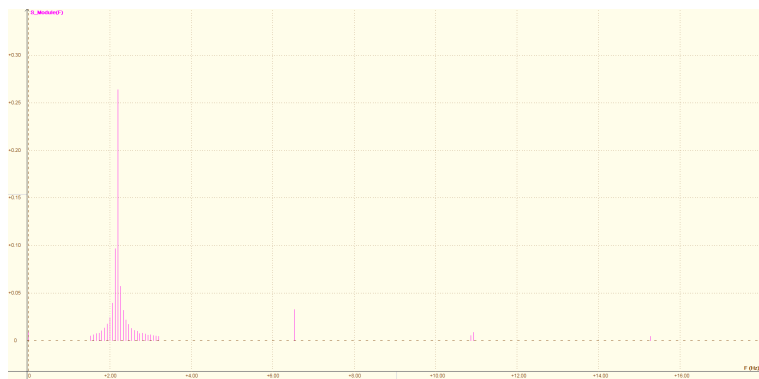


FIGURE 20: Test 3 : Un signal triangle de période 1ms échantillonné à 15ms

Définitions

- La superhétérodyne est une méthode indirecte qui permet l'amplication des ondes courtes. Le récepteur superhétérodyne réduit la fréquence originale reçue, à une fréquence ultrasonique intermédiaire, plus facile à utiliser.
- Li-Fi (Light Fidelity) est un outil de communication sans fil utilisant la lumière visible pour transmettre des données. Elle permet à deux ordinateurs, éloignés de quelques mètres, d'échanger des données à une vitesse importante, grâce à un capteur récepteur/émetteur spécial.