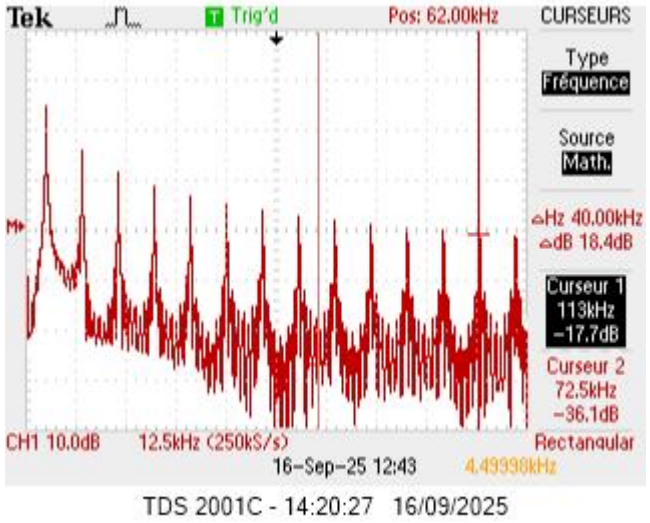
TP 2 : Analyse spectrale (thème électrocinétique)

# 1 Analyse spectrale d'un signal carré

## 1.1 Analyse spectrale avec l'oscilloscope numérique

Pour observer un spectre de fréquence maximale $f_{\max}$ il faut choisir une fréquence d'échantillonnage au moins de $f_e > 2f_{\max}$. Un signal rectangulaire présente un spectre riche. On constate qu'une fréquence d'échantillonnage $\boxed{f_e = 250\,\text{kHz}}$ est suffisant pour observer correctement suffisamment d'harmoniques.



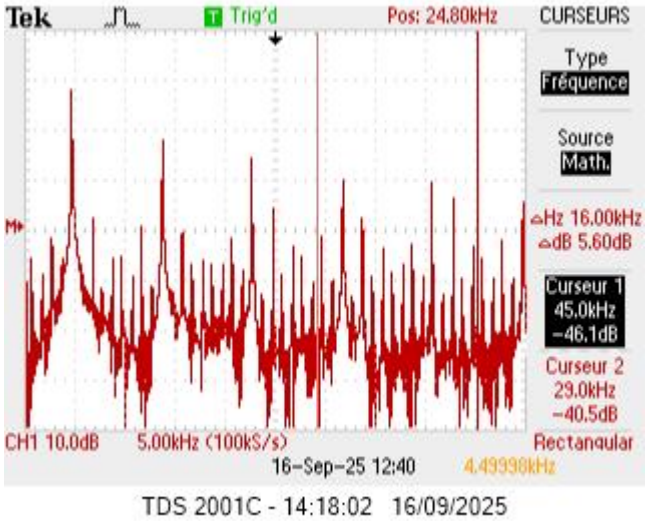

On relève quelques harmoniques

$$f_1 = 4{,}5\,\text{kHz} \quad ; \quad f_3 = 13{,}5\,\text{kHz} \quad ; \quad f_5 = 22{,}5\,\text{kHz} \quad ; \quad f_7 = 31{,}5\,\text{kHz}$$

$$f_9 = 40{,}5\,\text{kHz} \quad ; \quad f_{11} = 49{,}5\,\text{kHz} \quad ; \quad f_{13} = 58{,}5\,\text{kHz} \quad \ldots$$

On constate que seules les harmoniques impaires sont présentes.

Si on choisit une fréquence d'échantillonnage inférieure à 100 kHz alors on observe la présence d'autres pics fréquentiels d'amplitude non négligeable. Il s'agit de l'effet de repliement du spectre pour des harmoniques supérieures à $f_e/2 = 50\,\text{kHz}$. Par exemple la fréquence $f_{2n+1=13} = 58{,}5\,\text{Hz}$ apparaitra à la fréquence $f_e - f_{13} = 41{,}5\,\text{kHz}$.

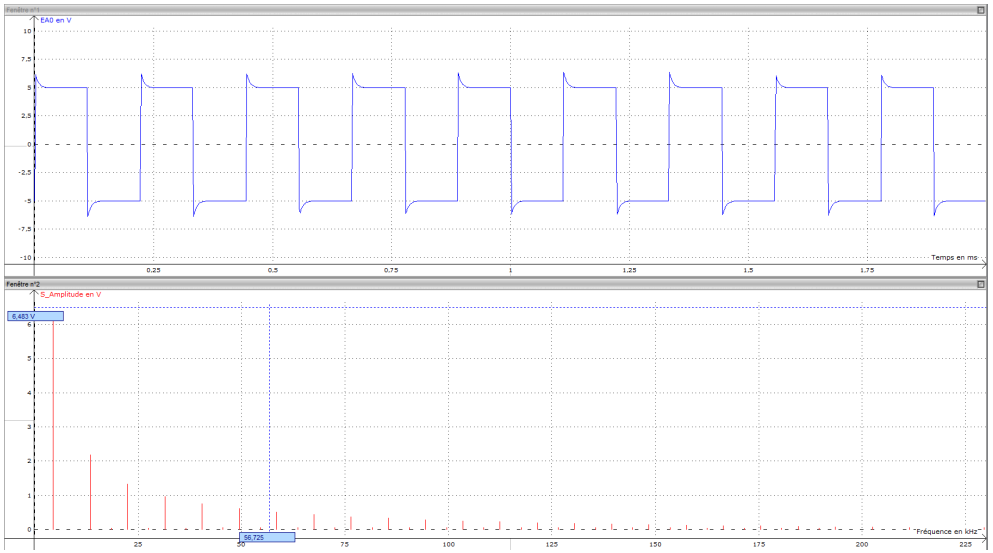



## 1.2 Analyse spectrale avec Latis-Pro

Le signal carré de fréquence $f = 4500\,\text{Hz}$ correspond à une période $T = 0{,}2\,\text{ms}$. En choisissant une période d'échantillonnage $T_e = 2\,\mu\text{s}$ (fréquence $f_e = 50\,\text{kHz}$) cela permet d'observer les harmoniques jusqu'à la fréquence $f_{\max} = f_e = 25\,\text{kHz}$.

Le nombre de points choisi permet une résolution fréquentielle $\Delta f = 1/T_{\text{tot}} = 500\,\text{Hz}$. Ainsi on obtient les bonnes valeurs pour les harmoniques 4,5 kHz, 9,0 kHz, 13,5 kHz, 18,0 kHz et 22,5 kHz.

On n'observe pas de repliement de spectre contrairement avec l'oscilloscope. Cela provient du fait qu'avant d'effectuer l'analyse de Fourier, le logiciel applique un filtre anti-repliement de spectre, i.e. applique un filtre passe-bas de fréquence de coupure $f_c = f_e/2$.




# 2 Effet d'un filtre passe-bande sur ce signal carré

## 2.1 Montage

On reconnait la fonction de transfert d'un filtre passe-bande d'ordre 2. On calcule le facteur de qualité et la fréquence propre :

$$\boxed{Q = 19 \quad \text{et} \quad f_0 = 4{,}05\,\text{kHz}}$$

## 2.2 Fonctionnement

On alimente le circuit avec un signal sinusoïdal dont on fait varier la fréquence. On constate que le signal de sortie est quasi-nulle sauf pour une fréquence proche de 4 kHz. On a bien un filtre très sélectif. On constate que le signal de sortie est en opposition de phase avec le signal d'entrée à la résonance. Cette observation est en accord avec l'analyse de la fonction de transfert. En effet $\underline{H}(f = f_0) = -1/2$ est un réel négatif, d'où un déphasage $\phi(f_0) = \pi$.

Pour mesurer $f_0$, on cherche donc la fréquence pour laquelle le signal de sortie est maximal et en opposition de phase avec le signal d'entrée. On constate que le déphasage reste égal à $\pi$ sur l'intervalle $[4,28; 4,33]$kHz.

On en déduit $\boxed{f_0 = 4{,}305\,\text{kHz}}$, l'incertitude maximale vaut $\Delta(f_0) = 0{,}025\,\text{kHz}$ et l'incertitude-type $\boxed{u(f_0) = 0{,}014\,\text{kHz}}$.

On calcule l'écart normalisé

$$\boxed{EN = \frac{|4{,}05 - 4{,}305|}{0{,}014} = 18 > 2}$$

On conclut que la mesure n'est pas en accord avec la valeur théorique attendue. Il aurait peut-être fallu prendre en compte les incertitudes sur les composants $R$, $R'$ et $C$ afin d'évaluer l'incertitude sur $Q$ et $f_0$. La vérification des valeurs des composants permet d'identifier un écart de 10% sur la valeur de la capacité. Ceci explique qu'on obtienne un écart aussi de l'ordre de 10% sur $f_0$.

## 2.3 Signal de sortie

Seule la fréquence fondamentale se situe dans la bande passante. Le signal de sortie a l'allure d'une sinusoïde à la fréquence $f_0$.

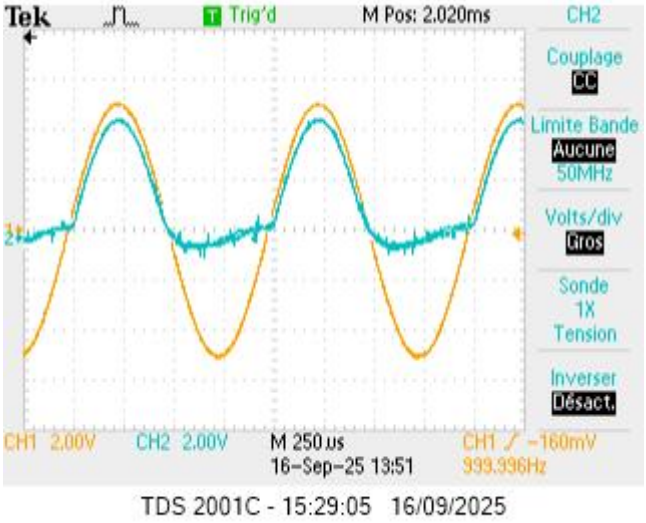
Quand $f = f_0/n$ avec $n \in \mathbb{N}^*$, il existe une harmonique dans la bande passante, donc on retrouve un signal sinusoïdal de fréquence $f_0$, mais d'amplitude d'autant plus faible que $n$ est élevé. En dehors de cette condition, on observe un signal quelconque et le spectre est plus riche.

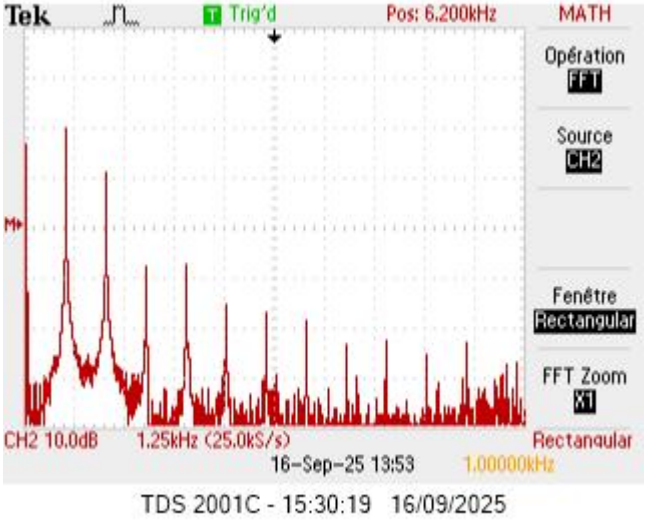
# 3 Effet d'un composant non linéaire sur le spectre d'un signal sinusoïdal

## 3.1 Rappels sur la diode

## 3.2 Non linéarité du montage redresseur simple-alternance avec seuil

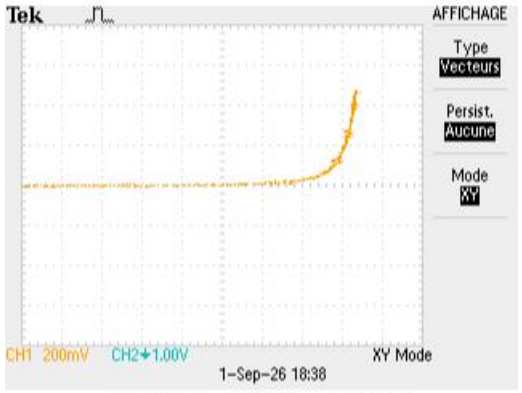
Quand $u_e > V_d$, la tension $u_s$ suit $u_e$ (à $V_d$ près). Quand $u_e < V_d$, alors $u_s = 0$. Le signal $u_s$ suit $u_e$ sur une demi-période (à $V_d$ près) et est nulle sur l'autre demi-période. D'où le nom « redresseur simple alternance ».




Le spectre de $u_s$ possède une fondamentale à 1 kHz (correspond à la fréquence du signal $u_s(t)$) et des harmoniques impaires 3 kHz, 5 kHz ...

Pour observer la caractéristique en mode XY sur l'oscilloscope, on place la masse de l'oscilloscope entre la diode et la résistance, la voie 1 sur la borne + du GBF et la voie 2 sur la borne - du GBF. On visualise alors $u_d$, la tension aux bornes de la diode, sur la voie 1, et $-Ri$ sur la voie 2. On va donc « inverser » la voie 2, puis passer en mode XY. On veillera à avoir placé les origines des deux voies au centre de l'écran.




On observe la caractéristique de la diode. On mesure $V_d \approx 0{,}6$ V.

**Remarque :** À $f = 1$ kHz on observe un phénomène d'hystérésis. Pour le limiter, la caractéristique a été tracé avec une fréquence $f = 200$ Hz.