

## Chapitre 04

## Représentations fréquentielles de signaux Systèmes filtrants

Capacités exigibles :

- Savoir qu'un signal périodique peut se décomposer en une somme de sinusoides (IR)
- Savoir utiliser la décomposition d'un signal périodique en une somme de sinusoides ; relation temps fréquence entre les deux représentations (ER)
- Savoir analyser un spectre de raies : identification du fondamental, de l'harmonique de rang n.
- Savoir analyser le spectre d'un signal quelconque (encombrement spectral, présence de bruit, etc.)
- Identifier un bruit blanc à l'aide de la densité spectrale de puissance (ER uniquement)

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié et caractériser les signaux grâce à leur représentation temporelle. On peut aussi caractériser un signal grâce à sa représentation fréquentielle. Ce graphe est aussi appelé « spectre » du signal.

Représentation temporelle	Représentation fréquentielle
Ordonnée : valeur du signal, en volt ici Abscisse : valeur de l'instant, en seconde ici	Ordonnée : amplitude/valeur, notée A, en volt Abscisse : fréquence, en Hertz

**Important : dès qu'un graphe vous est proposé, il faut regarder quelle grandeur (ou quelle unité) est sur l'axe des abscisses.**

### I. Analyse de Fourier d'un signal périodique :

Joseph Fourier (1768-1830) a introduit les séries qui portent son nom à propos d'une autre question de physique : la résolution de « l'équation de la chaleur ». Il étudiait la conduction thermique dans une barre cylindrique métallique, soumis à une différence de température à ses extrémités. Il cherchait à résoudre une équation différentielle et eut l'idée de proposer une solution sous forme d'une somme de cosinus et de sinus. Il a fallu près d'un siècle pour que ses travaux soient exploités dans d'autres domaines de la Physique.

Aujourd'hui, les travaux de Fourier sont utilisés dans de multiples domaines :

- en théorie du signal,
- en imagerie numérique (format JPEG)
- pour la compression de données (format MP3)
- dans l'exploitation des systèmes 4G, 5G.



Afin de comprendre les notions abordées, visionner la vidéo :  
« Apprendre à exploiter un spectre en amplitude »



### A. Théorème de Fourier :

#### ❖ **Théorème de Fourier (à connaître par cœur) :**

Tout signal périodique  $u(t)$ , de fréquence  $f_1$  peut-être décomposé en une somme discrète :

- de sa composante continue, de fréquence nulle et de valeur, égale à sa valeur moyenne, notée  $\langle u \rangle$ ,
- de signaux sinusoïdaux alternatifs de fréquence multiple entier de  $f_1$ .

#### ❖ **Développement en série de Fourier d'un signal périodique :**

Tout signal périodique  $u(t)$ , de fréquence  $f_1$  peut-être décomposé en une somme discrète :

$$u(t) = \langle u \rangle + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \times \cos(2 \times \pi \times f_n \times t + \varphi_n)$$

avec  $f_n$  : fréquence du signal sinusoïdal alternatif de rang  $n$ , en hertz

$A_n$  : amplitude du signal sinusoïdal alternatif de rang  $n$ , en volt

$\varphi_n$  : phase à l'origine du signal sinusoïdal alternatif de rang  $n$ , en radian

Les fréquences des différents signaux sinusoïdaux alternatifs sont reliées par la formule suivante :

$$f_n = n \times f_1, \quad n \in \mathbb{N}^*$$

La fréquence de la composante continue est nulle.

#### Remarques :

- Ce théorème est valable quel que soit le motif du signal.
- Ce théorème peut s'appliquer à des signaux périodiques sous des conditions de régularité (fonction continue par morceaux), qui relève d'un cours de Mathématiques.

#### ❖ **Composante continue et composante alternative d'un signal périodique :**

$$u(t) = \langle u \rangle + A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2) + A_3 \cos(2\pi f_3 t + \varphi_3) + \dots$$

Composante continue, auquel on attribue une fréquence nulle.

Composante alternative, notée  $u_{alt}(t)$ , somme de signaux sinusoïdaux alternatifs

B. Le fondamental et les harmoniques de la composante alternative d'un signal périodique :

❖ **Qu'est-ce que le fondamental ? qu'est-ce qu'un harmonique ?**

Soit la composante alternative d'un signal périodique alternatif, notée  $u_{alt}(t)$ , de fréquence  $f_1$ , superposition de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples entiers de  $f_1$ , telle que :

$$u_{alt}(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2) + A_3 \cos(2\pi f_3 t + \varphi_3) + \dots$$

Signal sinusoïdal alternatif, de fréquence  $f_1$ , appelé harmonique de rang 1 ou fondamental du signal

Signal sinusoïdal alternatif de fréquence  $f_2 = 2f_1$ , appelé harmonique de rang 2

Signal sinusoïdal alternatif de fréquence  $f_3 = 3f_1$ , appelée harmonique de rang 3



L'harmonique de rang 1 est appelé le « fondamental » du signal car c'est le signal sinusoïdal alternatif qui **impose** sa fréquence  $f_1$  au signal  $u(t)$ .

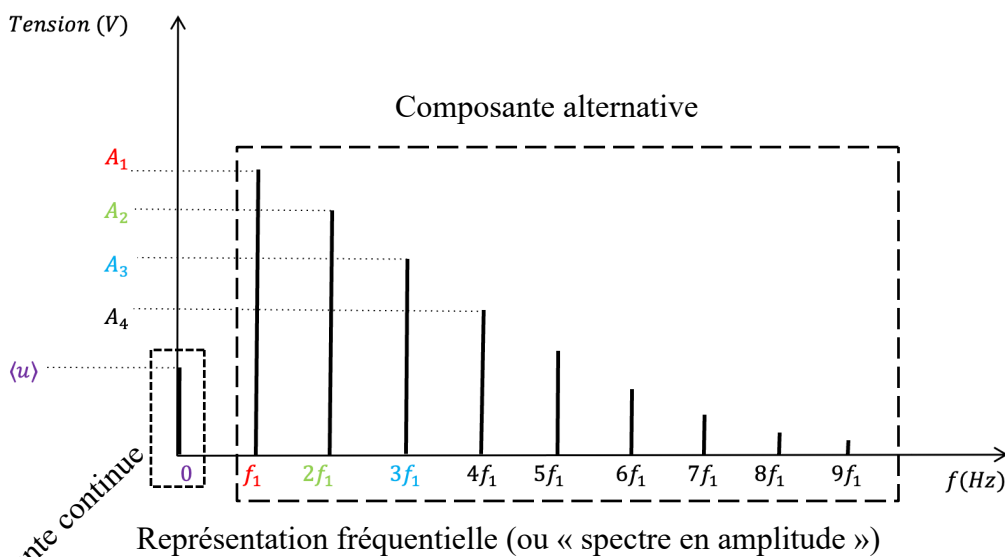
L'harmonique de rang  $n$  a pour fréquence  $f_n = n \times f_1$ ,  $n \in \mathbb{N}^*$

C. Apprendre à lire le spectre en amplitude d'un signal périodique :

Soit un signal périodique, dont la décomposition en série de Fourier est :

$$u(t) = \langle u \rangle + A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2) + A_3 \cos(2\pi f_3 t + \varphi_3) + \dots$$

$$\text{ou encore } u(t) = \langle u \rangle + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(2\pi f_n t + \varphi_n)$$



Chaque terme de cette somme est représenté par une raie dans le spectre en amplitude.

Seul le sommet de chaque raie a une réalité / un intérêt.

Composante continue

Représentation fréquentielle (ou « spectre en amplitude »)



La raie d'abscisse  $f = 0 \text{ Hz}$  représente la composante continue du signal  $u(t)$ , de fréquence  $0 \text{ Hz}$  et de valeur, la valeur moyenne  $\langle u \rangle$

Pour des valeurs de  $n$  entières et non nulle :

Chaque raie d'abscisse  $nf_1$  représente un harmonique du signal  $u(t)$  (c'est-à-dire un signal sinusoïdal alternatif) de fréquence  $f_n = nf_1$  et d'amplitude  $A_n$ .

#### ❖ Comment déterminer le rang d'un harmonique ?

On utilise la formule :  $f_n = n \times f_1 \Leftrightarrow n = \frac{f_n}{f_1}$



Sur un spectre, **il ne faut pas compter les raies pour déterminer le rang !**

Il faut déterminer la fréquence du fondamental, puis diviser la fréquence de l'harmonique par celle du fondamental : l'entier obtenu est le rang de l'harmonique.

$$n = \frac{f_n}{f_1}$$

#### ❖ Comment connaître la forme du motif à partir d'une représentation fréquentielle ?



Si le spectre du signal ne possède qu'une raie de fréquence non nulle, son motif est sinusoïdal.  
Si le spectre du signal possède plusieurs raies de fréquences non nulles, son motif ne peut pas être déterminé.



L'harmonique de rang 1 (le « fondamental » du signal) impose sa fréquence  $f_1$  au signal  $u(t)$  observé sur la représentation temporelle.

Les autres harmoniques ne font que modifier la forme du motif observé sur la représentation temporelle du signal  $u(t)$ .

#### D. Comment déterminer la fréquence du fondamental ?

Le fondamental n'est pas toujours la première raie visible (de fréquence non nulle) sur un spectre.



La fréquence du fondamental a pour valeur le plus grand commun diviseur des fréquences des harmoniques.

Remarque :

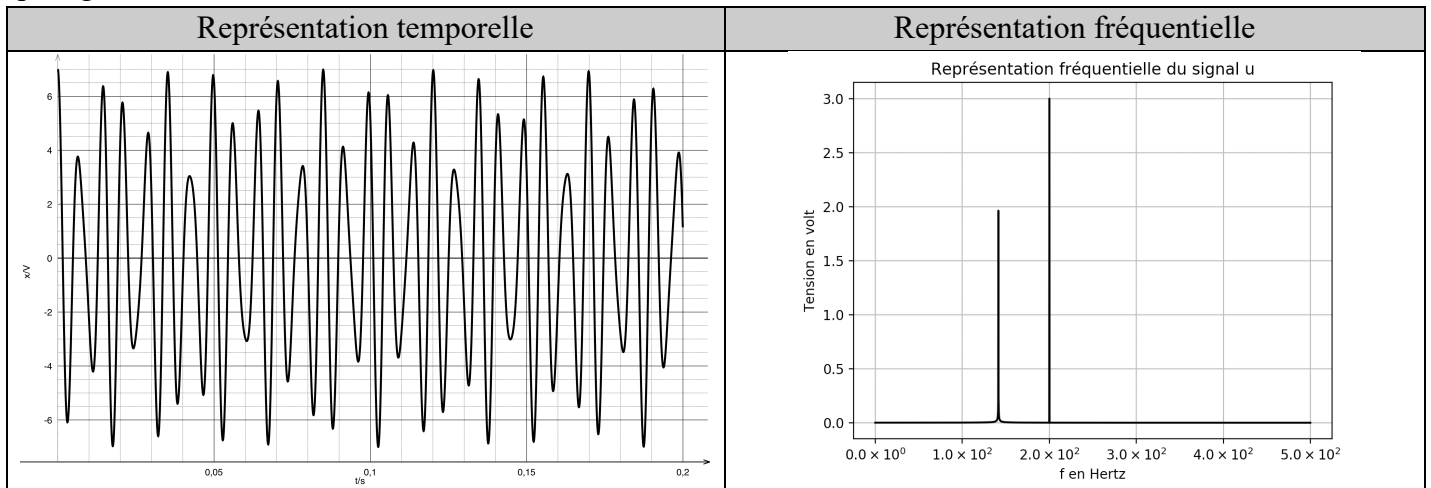
En Mathématiques, le PGCD est défini pour des nombres entiers : en Physique, la fréquence du fondamental peut-être un nombre décimal.

E. Si les fréquences des raies n'ont pas de plus grand commun diviseur :

On étudie le signal  $u(t)$  dont l'expression numérique est la suivante :

$$x(t) = 2,0 \cos(2\pi\sqrt{20000}t) + 3,0 \cos(2\pi \times 200t)$$

On remarque que  $200 \text{ Hz}$  n'est pas un multiple entier de  $\sqrt{20000} = 141,4213562 \dots$ . Il n'existe donc pas de plus grand commun diviseur entre  $200 \text{ Hz}$  et  $\sqrt{20000} \text{ Hz}$ .



Le signal  $u(t)$  n'est pas périodique.

Le spectre est composé de deux raies discrètes (séparées par un espace) mais le signal n'est pas périodique. Ces deux raies ne sont alors pas nommées « harmoniques »

Ce cas est mathématiquement possible, mais n'est pas réalisable physiquement : un GBF ne peut pas générer une fréquence de  $\sqrt{20000} \text{ Hz}$ .

II. Décomposition en série de Fourier de quelques signaux périodiques et encombrement spectral :

A. Cas du signal triangulaire :

Un signal  $u(t)$  périodique, triangulaire, d'amplitude  $U_m$ , de fréquence  $f_1$  a pour développement en série de Fourier :

$$u(t) = \langle u \rangle + \frac{8U_m}{\pi^2} \times \cos(2\pi f_1 t) + \frac{8U_m}{(3\pi)^2} \times \cos(2\pi \times 3f_1 t) + \frac{8U_m}{(5\pi)^2} \times \cos(2\pi \times 5f_1 t) + \dots$$

ou encore

$$u(t) = \langle u \rangle + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{8U_m}{((2k+1)\pi)^2} \times \cos(2\pi \times (2k+1) \times f_1 \times t) \text{ avec } k \in \mathbb{N}$$

Remarque :

Si on lit/utilise l'égalité (de gauche à droite)  $u(t) = \langle u \rangle + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{8U_m}{((2k+1)\pi)^2} \times \cos(2\pi \times (2k+1)f_1 t)$ , on parle de décomposition ou d'analyse de Fourier.

Si on lit la même égalité mais dans l'autre sens,  $\langle u \rangle + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{8U_m}{((2k+1)\pi)^2} \times \cos(2\pi \times (2k+1)f_1 t) = u(t)$ , on parle de recombinaison ou de synthèse de Fourier.

### B. Cas du signal carré :

Un signal  $u(t)$  périodique, carré, d'amplitude  $U_m$ , de fréquence  $f_1$  a pour développement en série de Fourier :

$$u(t) = \langle u \rangle + \frac{4U_m}{\pi} \times \cos\left(2\pi f_1 t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{4U_m}{3\pi} \times \cos\left(2\pi \times 3f_1 t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{4U_m}{5\pi} \times \cos\left(2\pi \times 5f_1 t - \frac{\pi}{2}\right) + \dots$$

ou encore

$$u(t) = \langle u \rangle + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{4U_m}{(2k+1)\pi} \times \cos\left(2\pi \times (2k+1) \times f_1 \times t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ avec } k \in \mathbb{N}$$

#### Remarque :

Pour les signaux que nous venons de citer, l'amplitude des harmoniques décroît à mesure que leur ordre augmente.

### C. Encombrement spectral d'un signal :

#### ❖ Qu'est-ce que l'encombrement spectral d'un signal ?

L'encombrement spectral d'un signal correspond à la valeur de l'étendue en fréquence qu'occupe l'ensemble des raies du signal. Il est noté  $\Delta f$ , et son unité est le Hertz, noté  $Hz$

$$\Delta f = f_{max} - f_{min}$$

$f_{max}$  : fréquence de l'harmonique de plus haut rang du signal (ou de la raie de plus grande fréquence), ayant une amplitude non nulle, en Hertz

$f_{min}$  : fréquence de la raie de plus basse fréquence, ayant une amplitude non nulle, en Hertz.

#### ❖ Qu'est-ce que l'encombrement spectral à X % d'un signal ?

On étudie un signal périodique d'amplitude  $U_m$ .

L'encombrement spectral à X% d'un signal correspond à la valeur de l'étendue en fréquence suivante :

$$\Delta f = f_{max,X\%} - f_{min}$$

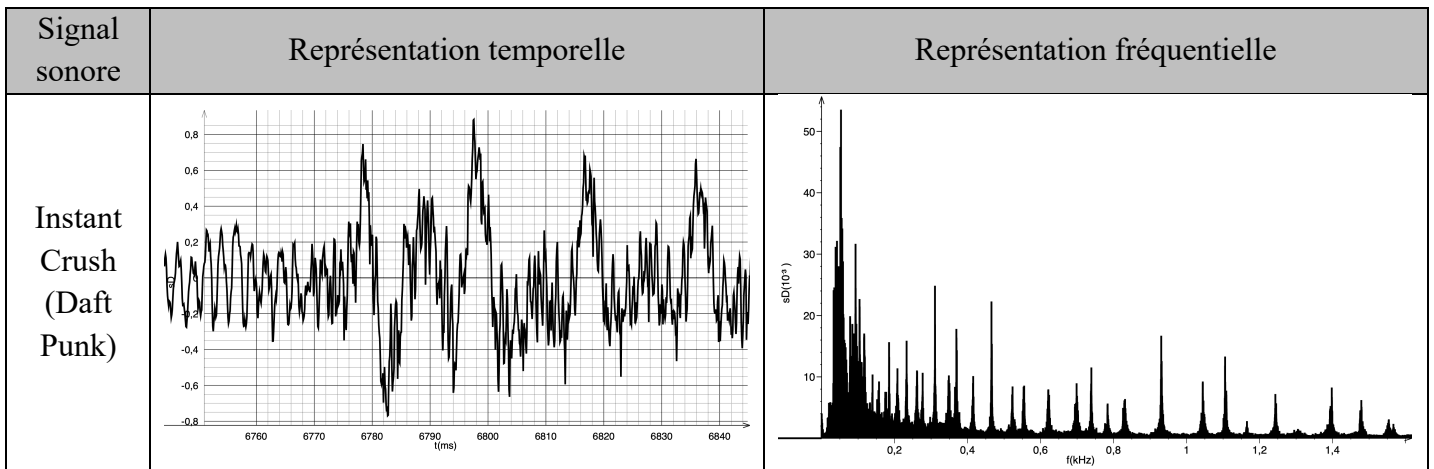
$f_{max,X\%}$  : fréquence (en Hertz) de l'harmonique du signal (ou de la raie), ayant une amplitude **juste supérieure à la valeur**  $\frac{X}{100} \times U_m$

$f_{min}$  : fréquence de la raie de plus basse fréquence, ayant une amplitude non nulle, en Hertz.

### III. Représentation fréquentielle d'un signal variable, non périodique :

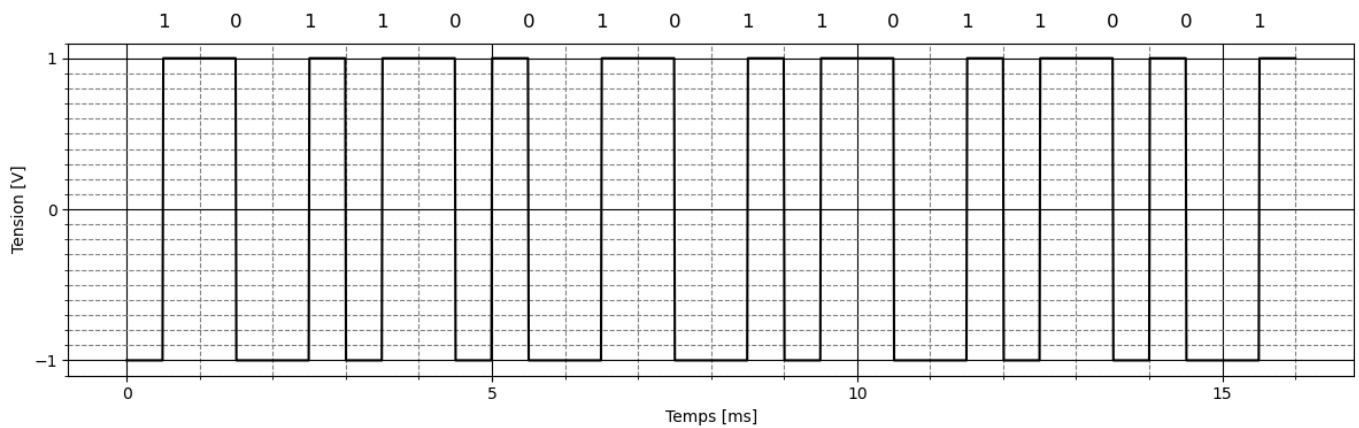
La grande majorité des signaux sont variables mais ne sont pas périodiques.

Exemple : extrait d'un morceau de musique

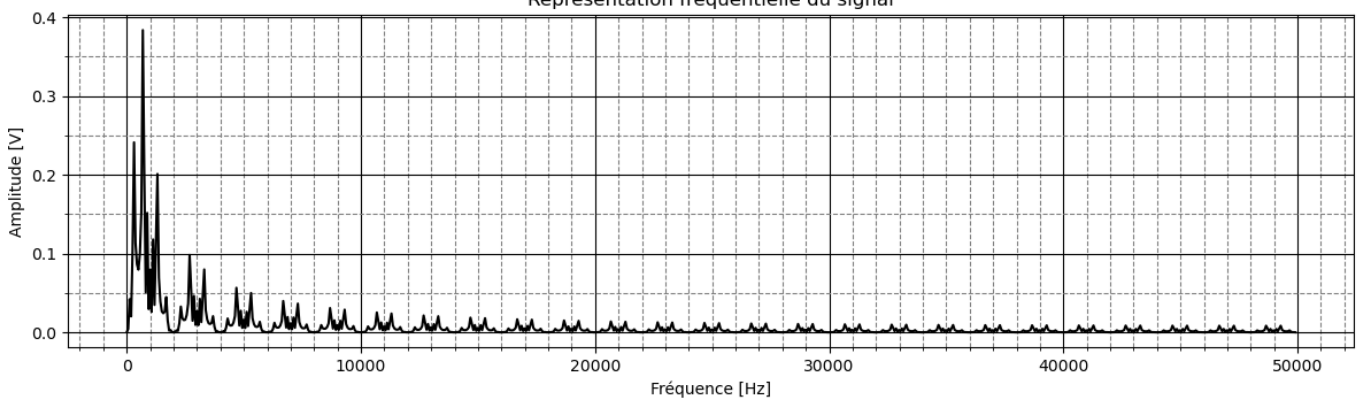


Exemple : un signal binaire avec le code de Manchester

Représentation temporelle du signal codé en Manchester



Représentation fréquentielle du signal



### ❖ Continuité du spectre d'un signal non périodique :

Le spectre d'un signal périodique est constitué de raies discrètes.  
Le spectre d'un signal non périodique est continu.



Spectre avec des raies discrètes (raies séparées par un espace « vide »)  $\Leftrightarrow$  signal périodique  
Spectre avec une continuité de raies  $\Leftrightarrow$  signal non périodique

#### Conséquence :

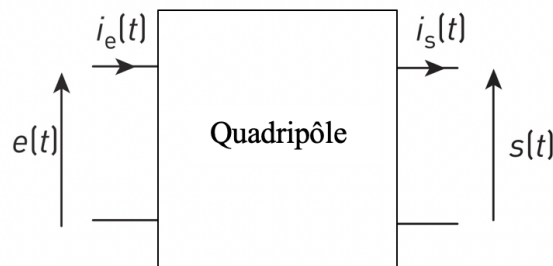
Un signal non périodique ne possède donc ni fondamental, ni harmonique de fréquence multiples entiers de celle du fondamental.

#### Remarque :

Afin d'obtenir le spectre de signaux non périodiques, on n'exploite plus la décomposition en série de Fourier. On utilise les transformations de Fourier.

#### IV. Caractériser un système linéaire :

##### ❖ Qu'est-ce qu'un système linéaire ?



Un système est linéaire si l'équation liant  $e(t)$  et  $s(t)$  vérifie les principes :

- de proportionnalité : si on multiplie par un nombre  $k$  le signal d'entrée  $e(t)$ , le signal de sortie devient alors  $k \times s(t)$
- de superposition : si  $s_1(t)$  est la réponse au signal d'entrée  $e_1(t)$  et  $s_2(t)$  est la réponse au signal d'entrée  $e_2(t)$  alors  $s_1(t) + s_2(t)$  est la réponse au signal d'entrée  $e_1(t) + e_2(t)$

#### A. Un système linéaire peut être un filtre, actif ou passif :

##### Définition : qu'est-ce qu'un filtre ?

Un système linéaire est appelé « filtre » s'il permet de **modifier l'amplitude de certains harmoniques** présents dans le signal d'entrée périodique, **d'une façon différente des autres harmoniques.**



Qu'est-ce qu'un filtre passif ? actif ?

Un système électrique linéaire est un filtre dit **passif** s'il n'est constitué uniquement que de **dipôles passifs** :

- conducteurs ohmiques de résistance  $R$ , dont l'unité est l'ohm, noté  $\Omega$ .
- condensateurs de capacité  $C$ , dont l'unité est le Farad, noté  $F$ .
- bobines d'inductance  $L$  dont l'unité est le Henry, noté  $H$ .

Un système électrique linéaire est un filtre dit **actif** s'il possède **un ou plusieurs éléments actifs** : transistors bipolaires ou à effet de champ, amplificateurs linéaires intégrés (en plus des dipôles passifs usuels  $R$ ,  $C$  et plus rarement  $L$ ).

Un dipôle passif ne nécessite pas d'alimentation extérieure (apport d'énergie électrique) pour pouvoir fonctionner, contrairement à un élément actif.

B. Quelles sont les différentes natures de filtrages possibles pour un système ?

a. Les systèmes « passe-bas » et « passe-haut » :

❖ **Fréquence de coupure d'un système passe-bas ou passe-haut :**

Un système possédant une nature de filtrage « passe-bas » ou « passe-haut », est caractérisé par sa fréquence de coupure, notée  $f_c$ . Cette fréquence de coupure est **propre à chaque système** : il s'agit d'une **grandeur caractéristique du système** étudié.

La valeur de la fréquence de coupure  $f_c$  d'un système dépend des éléments constituant ce système.



Ne pas confondre la fréquence du signal d'entrée (et de ses harmoniques) et la fréquence de coupure  $f_c$  du système étudié.

Qu'appelle-t-on « hautes fréquences » ou « basses fréquences » pour un système ?

Lorsque la fréquence d'un harmonique du signal d'entrée est plus grande que la fréquence de coupure  $f_c$  du système, on parle de « hautes fréquences » **pour ce système**.

Lorsque la fréquence d'un harmonique du signal d'entrée est plus faible que la fréquence de coupure  $f_c$  du système, on parle de « basses fréquences » **pour ce système**.

❖ **Qu'est-ce qu'un système « passe-bas » ?**

Un système linéaire possède une nature de filtrage nommée « **passe-bas** » si :

- il ne modifie pas (laisse passer) les amplitudes des harmoniques de basses fréquences et atténue les amplitudes des harmoniques de hautes fréquences,
- il atténue les amplitudes des harmoniques de basses fréquences et atténue davantage les amplitudes des harmoniques de hautes fréquences,
- il amplifie les amplitudes des harmoniques de basses fréquences davantage que les amplitudes des harmoniques de hautes fréquences.

Application :

Ce type de filtrage est présent dans une enceinte afin que les basses fréquences du son (les « graves ») soient envoyées sur le haut-parleur de grande dimension.

❖ **Qu'est-ce qu'un système « passe-haut » ?**

Un système linéaire possède une nature de filtrage nommée « **passe-haut** » si :

- il ne modifie pas (laisse passer) les amplitudes des harmoniques de hautes fréquences et atténue les amplitudes des harmoniques de basses fréquences,
- il atténue les amplitudes des harmoniques de hautes fréquences et atténue davantage les amplitudes des harmoniques de basses fréquences,
- il amplifie les amplitudes des harmoniques de hautes fréquences davantage que les amplitudes des harmoniques de basses fréquences

Application :

Ce type de filtrage permet l'élimination de la composante continue d'un signal.

❖ **Bande-passante des systèmes passe-haut ou passe-bas :**

	Filtrage passe-bas	Filtrage passe haut
Bande passante	$[0 ; f_c]$	$[f_c ; +\infty[$
Largeur de la bande passante	$\Delta f = f_c - 0 = f_c$	La largeur de bande passante n'est pas définie.

b. Les systèmes « passe-bande » :❖ **Fréquences de coupure d'un système passe-bande :**

Un système possédant une nature de filtrage « passe-bande » est caractérisé par **deux fréquences de coupure**, notées  $f_{c,min}$  et  $f_{c,max}$ . Ces fréquences de coupure sont **propres à chaque système** : il s'agit de **grandeurs caractéristiques** du système étudié.

Leur valeur dépend des éléments constituant ce système.

Lorsque la fréquence d'un harmonique du signal d'entrée est plus grande que  $f_{c,max}$ , on parle de « hautes fréquences » **pour ce système**.

Lorsque la fréquence d'un harmonique du signal d'entrée est plus faible que  $f_{c,min}$ , on parle de « basses fréquences » **pour ce système**.

❖ **Qu'est-ce qu'un système « passe-bande » ?**

Un système linéaire possède une nature de filtrage nommée « **passe-bande** » si :

- il ne modifie pas (laisse passer) les amplitudes des harmoniques dont la fréquence est comprise entre  $[f_{c,min} ; f_{c,max}]$  et atténue les amplitudes des autres harmoniques,
- il atténue les amplitudes des harmoniques dont la fréquence est comprise entre  $[f_{c,min} ; f_{c,max}]$  et atténue davantage les amplitudes des autres harmoniques,
- il amplifie les amplitudes des harmoniques dont la fréquence est comprise entre  $[f_{c,min} ; f_{c,max}]$  davantage que les amplitudes des autres harmoniques.

Application :

Ce type de filtrage permet de sélectionner la station FM souhaitée dans les récepteurs radios.

❖ **Bande passante d'un système passe-bande :**

On appelle bande passante d'un système « passe-bande », l'intervalle suivant :  $[f_{c,min} ; f_{c,max}]$

On appelle largeur de la bande passante de ce système, la grandeur suivante :

$$\Delta f = f_{c,max} - f_{c,min}$$

Remarque :

Si le signal d'entrée est non périodique (son spectre est continu et est constitué d'une infinité de signaux sinusoïdaux alternatifs) et si le système est toujours linéaire, notre étude pourra toujours s'appliquer.

C. Amplification  $T_0$  dans la bande passante du système :Définition de l'amplification  $T_0$  : à connaître

On note  $T_0$ , l'amplification de l'amplitude des harmoniques dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système.

$T_0$  représente le rapport de l'amplitude d'un harmonique du signal de sortie, **dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système**, sur l'amplitude de ce même harmonique en entrée du système.

$$T_0 = \frac{A_{n,S}}{A_{n,E}}$$

$A_{n,E}$  : amplitude de l'harmonique de rang  $n$  en entrée du système, dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système, en Volt

$A_{n,S}$  : amplitude de l'harmonique de rang  $n$  en sortie du système, dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système, en Volt

$T_0$  : amplification dans la bande passante, sans unité.

Vocabulaire : à connaître

Pour un système « passe-bas »,  $T_0$  est appelé « amplification statique » ou « amplification à basses fréquences » du système.

Pour un système « passe-haut »,  $T_0$  est appelé « amplification à hautes fréquences » du système.

Pour un système « passe-bande »,  $T_0$  est appelé « amplification dans la bande passante » du système.

Sens physique :

Si  $|T_0| = 1$  alors le système ne modifie pas les amplitudes des harmoniques du signal d'entrée, dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système.

Si  $|T_0| < 1$  alors le système atténue les amplitudes des harmoniques du signal d'entrée, dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système.

Si  $|T_0| > 1$  alors le système amplifie les amplitudes des harmoniques du signal d'entrée, dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système.

Important :

L'apport d'énergie extérieur dans un système actif, a en général, pour but d'amplifier des harmoniques mais il se peut que la structure du système actif ne le permette pas.

Un système actif peut amplifier ( $|T_0| > 1$ ) l'amplitude des harmoniques du signal d'entrée, dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système, comme il peut ne pas les amplifier ( $|T_0| \leq 1$ ).

L'absence d'apport d'énergie extérieur dans un système passif, pourrait laisser croire qu'il est impossible d'amplifier l'amplitude des harmoniques : or, en exploitant le « phénomène de résonance », un système passif peut amplifier l'amplitude des harmoniques, sans apport extérieur d'énergie.

Un système passif peut amplifier ( $|T_0| > 1$ ) l'amplitude des harmoniques du signal d'entrée, dont la fréquence est comprise dans la bande passante du système, comme il peut ne pas les amplifier ( $|T_0| \leq 1$ ).

Chapitre 04 - Ce qu'il faut savoir :

- Savoir qu'un signal périodique est la somme d'une composante continue et d'une composante alternative périodique.
- Énoncer par cœur le théorème de Fourier.
- Savoir que la fréquence du fondamental est le PGCD des fréquences des harmoniques.
- Savoir que le fondamental n'est pas la première raie visible d'un spectre.
- Savoir que le spectre d'un signal non périodique est continu
- Connaître la définition d'un système linéaire
- Connaître la définition d'un système passif/actif
- Connaître la définition d'un filtre passe-bas, passe-haut et passe-bande.
- Connaître les noms donnés à  $T_0$  selon la nature du filtrage

Chapitre 04 - Ce qu'il faut savoir-faire :

- Utiliser les termes « fondamental » et « harmoniques » : savoir relier les fréquences des harmoniques à celle du fondamental.
- Savoir déterminer la valeur moyenne d'un signal périodique quelconque à l'aide d'un spectre en amplitude.
- Savoir déterminer le rang d'un harmonique à partir d'un spectre
- Savoir déterminer les amplitudes et les fréquences des harmoniques d'un signal périodique quelconque à l'aide d'un spectre en amplitude.
- Savoir tracer un spectre en amplitude à partir de l'expression temporelle numérique du signal.
- Savoir calculer les amplitudes des harmoniques dans le cas de signaux carré ou triangulaire.
- Savoir déterminer la valeur d'un encombrement spectral
- Être capable de fournir une expression temporelle possible à partir d'un spectre en amplitude.
- Savoir reconnaître un système actif d'un système passif.
- Savoir reconnaître la nature d'un filtrage en comparant des spectres entrée/sortie
- Savoir déterminer l'amplification  $T_0$  en comparant des spectres entrée/sortie
- Savoir déterminer la fréquence de coupure d'un filtre en comparant des spectres entrée/sortie
- Savoir déterminer la bande passante et la largeur de la bande passante d'un filtre en comparant des spectres entrée/sortie.