



Sciences et technologies

de l'Industrie et du développement durable

ET222 : Introduction à la notion temps/fréquence pour les signaux électriques

COURS

Table des matières

1	<u>INTRODUCTION</u>	3
2	<u>ASPECT TEMPOREL</u>	3
2.1	DIFFERENTS TYPES DE SIGNAUX RENCONTRES EN GENIE ELECTRIQUE	3
2.2	RAPPELS	4
2.2.1	Le signal continu	4
2.2.2	Le régime variable	4
2.2.3	Classification des signaux variables	5
2.2.4	Définitions	5
2.3	LA VALEUR MOYENNE D'UN SIGNAL	6
2.3.1	Définition	6
2.3.2	Comment mesurer la valeur moyenne ?	6
2.3.3	Interprétation graphique de la valeur moyenne d'un signal	6
2.4	LA VALEUR EFFICACE D'UN SIGNAL	7
2.4.1	Définition	7
2.4.2	Comment mesurer la valeur efficace d'un signal ?	7
2.4.3	Interprétation graphique de la valeur efficace d'un signal	7
2.5	DECOMPOSITION D'UNE GRANDEUR PERIODIQUE	8
2.5.1	Définition	8
2.5.2	Interprétation graphique	9
2.6	CHOIX DES APPAREILS A UTILISER	10
2.6.1	Introduction	10
2.6.2	Mesure d'une valeur instantanée	10
2.6.3	Cas particulier de la mesure d'un courant instantané	11
2.6.4	Cas particulier de la mesure d'une tension instantané	11
2.6.5	Mesures de courants et de tensions	11
3	<u>ASPECT FREQUENTIEL</u>	13
3.1	INTRODUCTION	13
3.2	DECOMPOSITION SPECTRALE D'UN SIGNAL	13



Sciences et technologies

de l'Industrie et du développement durable

3.2.1	Le théorème de Fourier	13
3.2.2	Cas d'un signal sinusoïdal pur	13
3.2.3	Cas d'un signal sinusoïdal « non pur »	14
3.3	AUTRES DEFINITIONS	14
3.3.1	Le décibel	14
3.3.2	Représentation d'un spectre avec une échelle logarithmique	15
3.4	TABLEAU DE SYNTHÈSE	15
3.5	CHOIX DES APPAREILS DE MESURES	15
4	CONCLUSIONS	16



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

1 Introduction

Ce cours présente les bases essentielles à acquérir pour comprendre, effectuer une représentation temps-fréquence correcte d'un signal donné. Ainsi vous verrez que suivant la nature dudit signal différentes méthodes sont utilisées.

Vous commencerez pour étudier la représentation d'un signal en fonction du temps, laquelle s'effectue à l'aide d'un oscilloscope. Dès lors que l'on souhaite effectuer des mesures particulières (valeur moyenne, valeur efficace,...) sur ce signal on utilisera soit des fonctionnalités propres à l'oscilloscope soit des appareils spécifiques (multimètres, pince ampéremétrique, analyseur de réseau, ...).

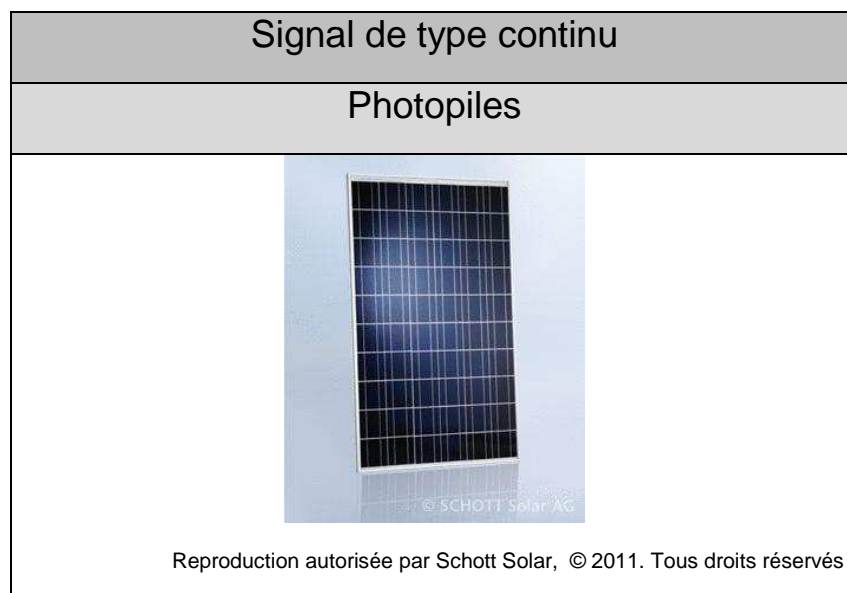
Puis vous aborderez la représentation d'un signal en fonction de la fréquence, laquelle peut s'effectuer à l'aide d'un analyseur de spectre. Cependant et compte tenu du prix de cet appareil il est tout à fait possible d'obtenir le contenu fréquentiel d'un signal à partir soit d'un oscilloscope équipé d'un module FFT (Fast Fourier Transform), soit par l'intermédiaire d'un logiciel particulier.

2 Aspect temporel

2.1 Différents types de signaux rencontrés en génie électrique




En génie électrique on rencontre des signaux de nature différente : alternative et continue.

Batteries, piles, photopiles constituent des domaines d'utilisation des signaux continus.



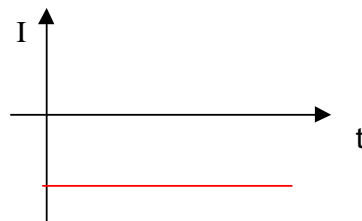
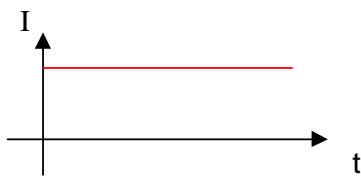


Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Signal de type alternatif		
Transformateurs	Variateurs de vitesse	Alimentation de moteurs
 <p>Reproduction autorisée par Schneider Electric, © 2011. Tous droits réservés</p>	 <p>Reproduction autorisée par Schneider Electric, © 2011. Tous droits réservés</p>	 <p>Reproduction autorisée par ABB, © 2011. Tous droits réservés</p>

2.2 Rappels

2.2.1 Le signal continu

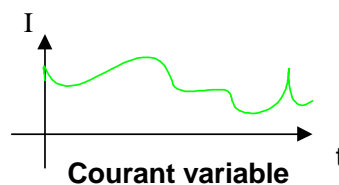


Un courant continu est un signal continu car il parcourt les conducteurs toujours dans le même sens et il ne varie pas dans le temps.

2.2.2 Le régime variable

Qu'est ce qu'un régime variable ?

En régime variable, les courants et les tensions sont des grandeurs qui varient avec le temps

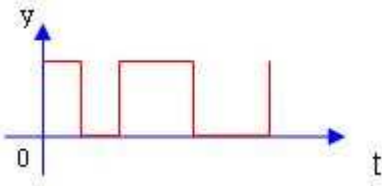
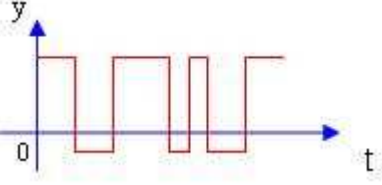
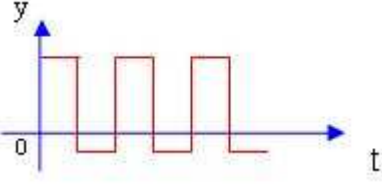




Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.2.3 Classification des signaux variables

Les signaux variables peuvent être classés selon leur sens de direction :

<p>Les <u>signaux unidirectionnels</u> circulent toujours dans le même sens. Les intensités et les tensions qui leur correspondent sont toujours du même signe.</p>	
<p>Les <u>signaux bidirectionnels</u> ne circulent pas toujours dans le même sens. Les intensités et les tensions qui leur correspondent sont des nombres relatifs, tantôt positifs, tantôt négatifs.</p>	
<p>Un signal unidirectionnel ou bidirectionnel peut être périodique ou non périodique.</p>	
<p>Un <u>signal périodique</u> est un signal ayant des portions où il se reproduit identiquement à lui-même.</p>	
<p>Un signal numérique est un signal qui se représente au moyen de valeurs discrètes (signal typique se propageant dans les systèmes informatiques).</p>	

2.2.4 Définitions

Valeur instantanée : On appelle valeur instantanée la valeur de la grandeur (tension ou l'intensité du courant) à l'instant t . Elle s'écrit : $u(t)$ ou $i(t)$

Période T : La période T (en ms) est l'intervalle de temps constant au bout duquel le signal reprend la même valeur et le même sens.

La fréquence : La fréquence F est le nombre de période par seconde en Hz.
$$F = \frac{1}{T}$$

Valeur maximale : La valeur maximale ou amplitude d'une tension ou intensité, est la plus grande valeur (positive ou négative) atteinte par cette tension ou intensité, notée \hat{U} ou \hat{I} . Elle est aussi appelée valeur crête et sa mesure s'effectue à l'oscilloscope.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Valeur crête à crête : elle correspond à la différence d'amplitude entre la valeur maximale et minimale du signal.

Rapport cyclique : il s'applique uniquement pour un signal périodique, et représente le rapport entre la durée du phénomène sur une période et la durée de cette même période.

2.3 La valeur moyenne d'un signal

2.3.1 Définition

L'intensité moyenne d'un courant variable est égale à l'intensité du courant continu (donc constant) qui transporte pendant le même temps (donc la période) la même quantité d'électricité.

La quantité d'électricité transportée étant proportionnelle à la surface couverte par le signal, il suffit de calculer la surface moyenne sur une période et de mesurer la hauteur de cette surface.

$$\text{Valeur moyenne} = \frac{\text{Surface moyenne}}{\text{Période}}$$

2.3.2 Comment mesurer la valeur moyenne ?

Deux types d'appareils permettent de la mesurer :

-Un appareil analogique magnéto-électrique, de symbole

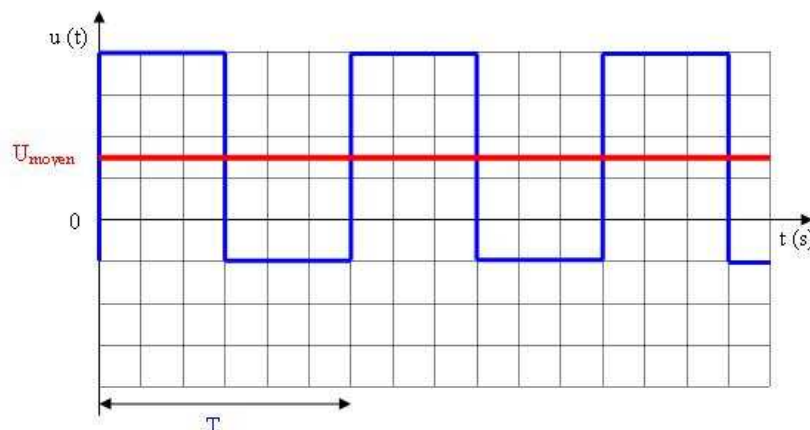
-Tous les appareils placés en position DC permettent une mesure juste de la valeur moyenne d'un signal.

On peut mesurer la valeur moyenne d'une tension à l'oscilloscope en passant de la position signal complet (composante continue ou valeur moyenne + composante alternative) à la position composante alternative seule.

Le décalage entre les deux tracés indique la valeur continue ou moyenne du signal.

2.3.3 Interprétation graphique de la valeur moyenne d'un signal

Soit la représentation de la tension $u(t)$:





Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Pour une période T du signal, on commence par calculer la surface moyenne, puis la valeur moyenne :

$$\text{Surface moyenne} = \text{Surface positive} - \text{Surface négative}$$

$$\text{Valeur moyenne} = (\text{Surface positive} - \text{Surface négative}) / \text{Période}$$

Application à la courbe $u(t)$ ci-dessus :

❶ On calcule la surface moyenne de $u(t)$	$S=12-3=9V/s$
❷ On détermine la période de $u(t)$	$T=6\text{ s}$
❸ On calcule U_{moy} c'est-à-dire la valeur moyenne de $u(t)$	$U_{\text{moy}} = S/T = 9/6 = 1,5V$

Remarque : si un signal a la même surface positive et négative alors sa valeur moyenne sera nulle. C'est le cas d'un signal alternatif sinusoïdal.

2.4 La valeur efficace d'un signal

2.4.1 Définition

L'intensité efficace d'un courant périodique (et donc d'un courant sinusoïdal) est égale à l'intensité I d'un courant continu qui passant dans la résistance R produirait pendant chaque période le même dégagement de chaleur $P=RI^2$ et $W=RI^2t$.

On désigne l'intensité efficace par la lettre majuscule I .

2.4.2 Comment mesurer la valeur efficace d'un signal ?

Avec un appareil analogique ferromagnétique, de symbole :

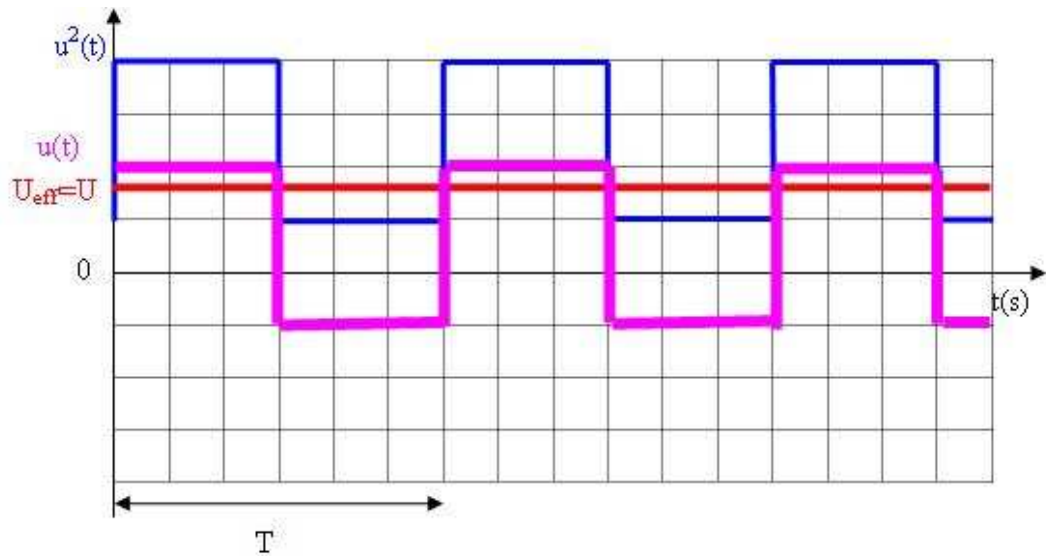
Avec un appareil numérique RMS (Root Mean Square : racine carrée de la moyenne des carrés) en position AC, ou un appareil numérique TRMS (True Root Mean Square : racine carrée vraie de la moyenne des carrés) en position AC+DC. Une mesure RMS se fera sur un signal ayant une valeur moyenne nulle.

2.4.3 Interprétation graphique de la valeur efficace d'un signal

Soit la représentation de la tension $u(t)$:



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable



Pour calculer la valeur efficace de $u(t)$:

❶ On trace la courbe $u^2(t)$	$2 \cdot 2 = 4V$; $(-1) \cdot (-1) = 1V$
❷ On détermine la période T de $u^2(t)$	$T = 6s$
❸ On calcule U_{moy}^2 c'est-à-dire la valeur moyenne de $u^2(t)$	$S = 3 \cdot 4 + 3 = 15V/s$ $U_{moy}^2 = S/T = 15/6 = 2,5 V$
❹ On effectue la racine carrée de U_{moy}^2 : $U_{eff} = \sqrt{U_{moy}^2}$	$U_{eff} = U = \sqrt{2,5} = 1,58V$

2.5 Décomposition d'une grandeur périodique

2.5.1 Définition

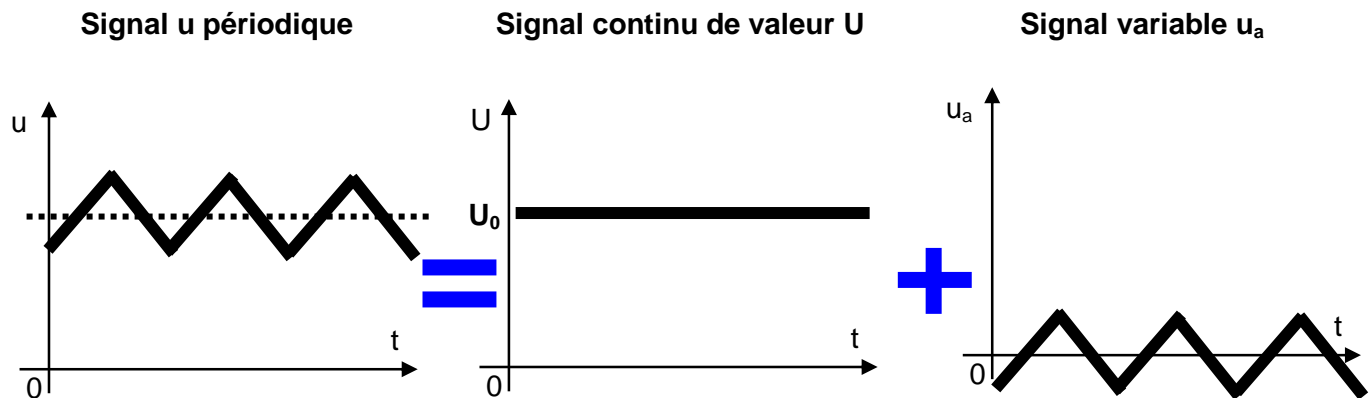
Tout signal u périodique se décompose suivant la somme de deux signaux :

- un signal continu U de valeur U_0
- un signal variable u_a



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.5.2 Interprétation graphique



On a donc :

$$u = U_0 + u_a$$

U se visualise à l'oscilloscope en position DC

u_a se visualise à l'oscilloscope en position AC

u se visualise à l'oscilloscope en position AC+DC

Remarques : u_a se mesure avec un appareil TRMS en position AC

Quand on parle d'intensité ou de tension en courant alternatif sans autres précisions, c'est toujours de l'intensité ou de la **tension efficace** qu'il s'agit (ex : 220V). Les grandeurs maximales sont toujours supérieures ou égales aux grandeurs efficaces qui elles-mêmes sont toujours supérieures ou égales aux grandeurs moyennes. D'où l'inégalité suivante :

$$Y_{\max} \geq Y_{\text{eff}} \geq Y_{\text{moy}}$$



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.6 Choix des appareils à utiliser

2.6.1 Introduction

Nous serons amenés à faire des mesures de grandeurs physiques pendant les séances de travaux pratiques. Il existe des capteurs et des appareils de mesure permettant de mesurer toutes ces grandeurs physiques. Nous relèverons particulièrement :

- Des courants : instantanés, efficaces, moyens.
- Des tensions : instantanées, efficaces, moyennes.
- Des vitesses.

2.6.2 Mesure d'une valeur instantanée

Si les grandeurs relevées varient dans le temps, il faut utiliser un oscilloscope.

L'oscilloscope est un voltmètre qui permet de relever l'évolution d'une tension en fonction du temps : $v = f(t)$. Le fonctionnement de l'oscilloscope est conditionné par le déclenchement dont il faut connaître principalement deux choses :

- Quand y a-t-il déclenchement ?

Il y a déclenchement lorsque le signal servant au déclenchement croise le niveau de déclenchement en front montant ou descendant.

- Que se passe-t-il lorsqu'il y a déclenchement ?

Suivant le type d'oscilloscope utilisé deux possibilités s'offrent à nous. Dans le premier cas, si on utilise un oscilloscope analogique, le déclenchement entraîne un balayage de l'écran. Un autre balayage est conditionné à un autre déclenchement, avec pour inconvénient l'impossibilité de relever que des signaux périodiques de fréquence $> 20\text{Hz}$. Dans le second cas, si on utilise un oscilloscope numérique, le déclenchement entraîne une acquisition. Avec un oscilloscope numérique on peut relever des signaux non périodiques.

Représentation de l'évolution d'un signal en fonction du temps		
Oscilloscope analogique	Oscilloscope numérique	
		
Reproduction autorisée par TEKTRONIX, © 2011. Tous droits réservés	Reproduction autorisée par FLUKE, © 2011. Tous droits réservés	



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

2.6.3 Cas particulier de la mesure d'un courant instantané

Pour relever ces grandeurs instantanées nous utiliserons en supplément des pinces ampèremétriques qui disposent d'une sortie analogique pour oscilloscope. Suivant la pince choisie la tension de sortie sera : 1mV/A, 10mV/A, 100mV/A, ...

2.6.4 Cas particulier de la mesure d'une tension instantané

Deux cas se représentent suivant que le montage est isolé ou non du réseau électrique. Pour un montage isolé, par exemple par un transformateur, nous utiliserons une sonde de tension qui protège l'entrée de l'oscilloscope des variations de tensions brutales. Par contre pour un signal non isolé du réseau il nous faut isoler la mesure par l'utilisation d'une sonde différentielle.

2.6.5 Mesures de courants et de tensions



Lors des séances de travaux pratiques vous allez utiliser différents appareils de mesure : une pince multifonctions, un multimètre.

Attention ! Certains appareils de mesure indiquent une valeur nulle même en présence de tension.

Lors de chaque mesure il est également nécessaire d'adapter le mesureur à la mesure.

Reproduction autorisée
par Distrame, © 2011.
Tous droits réservés

Mesure d'un signal continu	
Allure des signaux mesurables	Position du commutateur de sélection
	Pour mesurer la valeur d'un signal continu, il faut utiliser le multimètre sur la position DC ou —

Mesure d'un signal sinusoïdal	
Allure des signaux mesurables	Position du commutateur de sélection
	Si le signal mesuré est alternatif sinusoïdal, le multimètre en position DC affichera zéro, c'est-à-dire la valeur moyenne. Pour mesurer la valeur efficace d'un signal alternatif sinusoïdal, il faut utiliser le multimètre sur la position AC ou \sim .



Sciences et technologies

de l'Industrie et du développement durable

Autres mesures de signaux périodiques	
Allure des signaux mesurables	Position du commutateur de sélection
	<p>Pour mesurer la valeur efficace d'un signal périodique quelconque, il faut utiliser le multimètre sur la position AC ou TRMS.</p>

Utilisation de la pince multifonction	
<p>Reproduction autorisée par Distrame, © 2011. Tous droits réservés</p>	<p>Comme le multimètre la pince ampéremétrique est un appareil multifonction adaptant la mesure à la position de son commutateur rotatif (choix d'une mesure de tension, de courant, de puissance, ...).</p> <p>La pince multifonction permet de brancher de façon tout à fait indépendante le circuit associé à la mesure de tension et le circuit associé à la mesure du courant.</p>



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

3 Aspect fréquentiel

3.1 Introduction

Au cours de la présentation de la partie aspect temporel vous vous êtes rendu compte qu'il existait différentes natures de signaux. Ces derniers étant différents suivant l'utilisation qu'il en est faite. Ainsi chaque signal se définit dans une bande de fréquence bien précise. Par exemple les signaux basses fréquences sont définis jusqu'à 10kHz, les signaux associés aux fréquences radio possèdent une fréquence allant jusqu'à 10MHz.

3.2 Décomposition spectrale d'un signal¹

3.2.1 Le théorème de Fourier

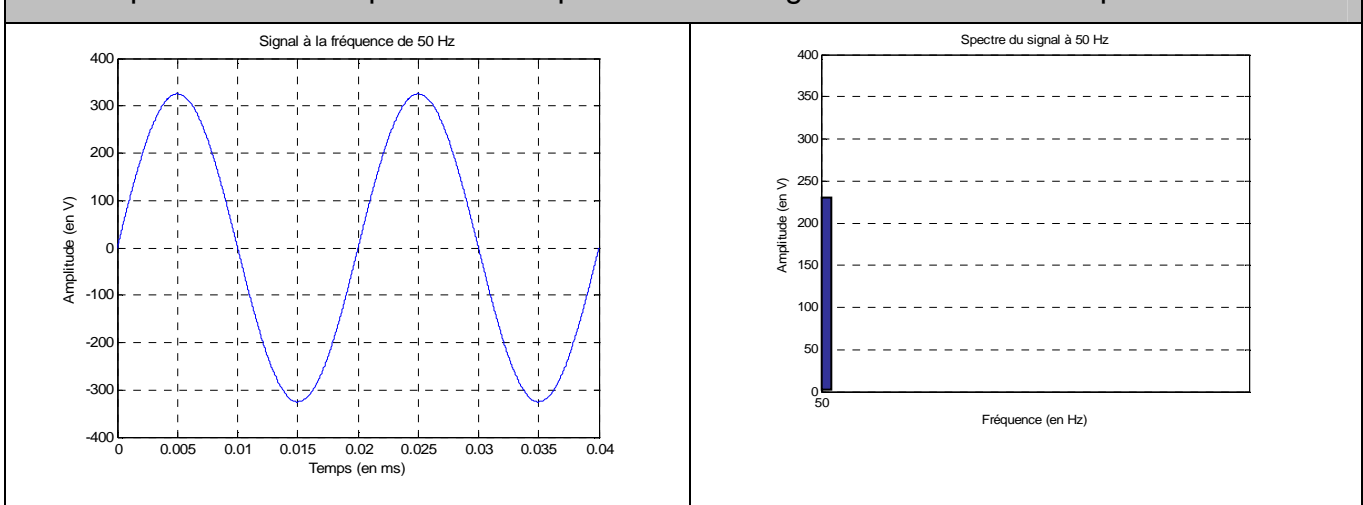
Le théorème de Fourier montre que tout signal périodique de fréquence f_1 et de forme quelconque peut être considéré comme la somme d'un signal sinusoïdal de même fréquence f_1 appelé fondamental et de signaux sinusoïdaux de fréquences $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$, ... appelés harmoniques du signal fondamental.

Les amplitudes de ces différents harmoniques vont dépendre de la forme du signal périodique analysé. Ainsi, le spectre associé à un signal, représente l'histogramme de l'amplitude de chaque harmonique en fonction de son rang. Ainsi l'examen du spectre nous permet d'apprécier à la fois quels sont les harmoniques en présence et leur importance respective.

3.2.2 Cas d'un signal sinusoïdal pur

Pour un signal parfaitement sinusoïdal de fréquence 50Hz et de valeur efficace 230V, son spectre ne comportera qu'une seule raie d'amplitude 230V à la fréquence de 50Hz.

Représentation temporelle et fréquentielle d'un signal sinusoïdal de fréquence 50Hz



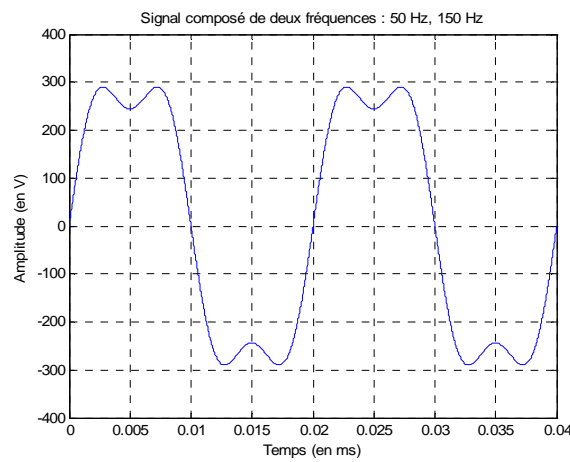
¹ Les signaux représentés dans cette partie ont été simulés avec Matlab.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

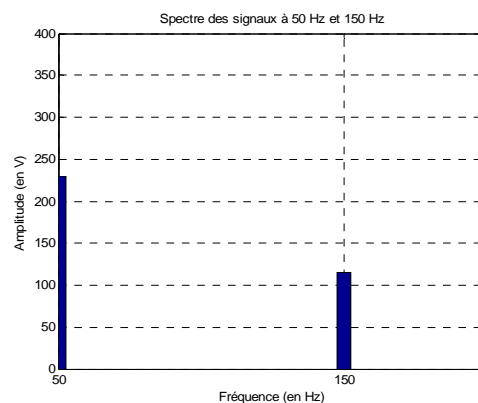
3.2.3 Cas d'un signal sinusoïdal « non pur »

Un signal bien que périodique peut comporter des signaux de fréquences différentes de celle qui lui est propre. Pour bien comprendre ce phénomène regardez la courbe ci-dessous :



Cette dernière représente un signal de fréquence 50Hz composé de l'addition d'un signal de fréquence de 50 Hz (valeur efficace 230V) et d'un signal de fréquence de 150Hz (amplitude 115V).

Le tracé de son spectre est donné à la figure suivante. On constate bien la présence de deux raies aux fréquences 50Hz et 150Hz, d'amplitudes respectives de 230V et 115V.



3.3 Autres définitions

3.3.1 Le décibel

Le décibel est défini à partir du logarithme d'un rapport entre deux grandeurs d'une même unité. Il peut aussi être utilisé comme unité absolue de mesure si une valeur de référence est fixée et connue. Des niveaux de référence standardisés ont été adoptés pour l'échelle des décibels dans différents domaines. Le décibel est strictement défini par dix fois le logarithme décimal (en base dix) du rapport des puissances de deux signaux.



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

3.3.2 Représentation d'un spectre avec une échelle logarithmique

Lorsqu'on étudie un phénomène utilisant une gamme étendue de valeurs, l'utilisation de l'échelle linéaire pour l'axe des abscisses est mal adaptée. On lui préfère alors une échelle logarithmique qui permet de dilater les petites valeurs et de réduire les grandes.

Pour l'échelle linéaire, deux graduations dont la différence vaut dix sont à distance constante.

Pour l'échelle logarithmique, deux graduations dont le rapport vaut 10 sont à distance constante.



3.4 Tableau de synthèse

Analyse temps-fréquence		
Nature d'un signal temporel	Méthode de calcul du spectre	Caractéristiques du spectre
Continu et périodique	Série de Fourier	Discret et non périodique
Continu et transitoire (non périodique)	Intégrale de Fourier	Continu et non périodique
Discret et périodique	Transformée de Fourier Discrète	Discret et périodique
Discret et non périodique	Intégrale de Fourier	Continu et périodique

Nos mesures s'effectueront en considérant nos signaux discrets et périodiques.

3.5 Choix des appareils de mesures

La mesure du spectre d'un signal s'effectue par différents appareils, comme ceux présentés ci-dessous.

Représentation de l'évolution d'un signal en fonction de la fréquence		
Analyseur de spectre	Analyseur d'énergie	Analyseur TRMS d'harmoniques
		
Reproduction autorisée par TEKTRONIX, © 2011. Tous droits réservés	Reproduction autorisée par FLUKE, © 2011. Tous droits réservés	



Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

4 Conclusions

Parallèlement à ce cours, une série de travaux dirigés permettent d'approfondir les notions qui viennent d'être abordées.

Par ailleurs lors des séances de travaux pratiques vous manipulerez les différents appareils qui viennent de vous être présentés.