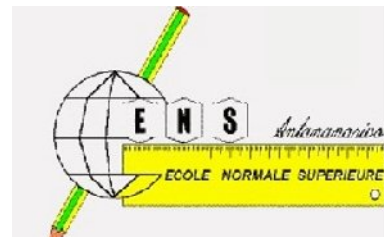




**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**ECOLE NORMALE SUPERIEURE**  
**Département de Formation Initiale**  
**C.E.R PHYSIQUE CHIMIE**



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de certificat d'aptitude pédagogique  
de l'Ecole Normale Supérieure.**

**(C.A.P.E.N)**

N° d'ordre : 293 /PC

***SIMULATION SUR ORDINATEUR DES  
CIRCUITS (RL) ET (RC) EN REGIME  
SINUSOIDAL FORCE***

Présenté par :

**RANAIVOSON Ando Harinala**

**Soutenu le : 17 décembre 2010**

**Président : Mr ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer**  
**Professeur**

**Juges : Mr RASOANAIVO René Yves**  
**Ph.D et Maître de conférences**

**Mme RAHARIJAONA Lala Parsonette**  
**Assistant d'Enseignement Supérieure et de Recherche**

**Rapporteur : Mr RASOLONDRAMANITRA Henri**  
**Ph.D et Maître de conférences**

**Année universitaire : 2009-2010**

## REMERCIEMENTS

*Que Dieu soit loué pour son amour, sa grâce et sa bonté.*

*Ce Mémoire de fin d'études, clôturant notre formation à l'Ecole Normale Supérieure n'aurait jamais pu être élaboré sans la collaboration étroite avec différentes entités et jamais sans le concours d'autrui. Ainsi, nos vifs remerciements sont adressés à toutes les personnes, physiques ou morales, qui ont, de loin, apporté leur contribution à la réalisation du présent travail.*

*Particulièrement*

*A Monsieur ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer, Professeur, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Qu'il reçoive nos vifs remerciements.*

*A Monsieur RASOLOND RAMANITRA Henri, Ph.D et Maître de conférences, notre encadreur qui, malgré ses lourdes et importantes responsabilités, nous a guidé inlassablement pendant toute la durée du travail et n'a jamais restreint ses précieux conseils, ses critiques constructives et ses suggestions. Qu'il soit assuré de nos entières gratitude et nos remerciements les plus sincères.*

*A Monsieur RASOANAIVO René Yves, Ph.D et Maître de conférences, qui malgré ses multiples occupations, a accepté de siéger parmi le jury de ce mémoire. Qu'il reçoive nos vifs remerciements.*

*A Madame RAHARIJAONA Lala Parsonette, Assistant d'Enseignement Supérieur et de Recherche qui, malgré la multitude de son attribution, a répondu positivement pour faire partie du membre du jury de ce mémoire. Qu'elle veuille bien accepter nos sincères remerciements.*

*A tous les professeurs à qui nous devons notre formation à l'Ecole Normale supérieure, particulièrement ceux de la Filière Physique-Chimie.*

*A nos parents, nos frères et sœur qui nous ont soutenu et apporté leurs conseils.*

*A toute notre famille, nos proches et nos amis qui sont toujours présents pour leur réconfort.*

*A tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont apporté leur concours.*

## **PREMIERE PARTIE :**

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>REPERES THEORIQUES .....</b>	<b>4</b>
<b>I. ELEMENTS MATHEMATIQUES.....</b>	<b>4</b>
I.1 Construction de Fresnel.....	4
I.1.1 Représentation de Fresnel d'une grandeur sinusoïdale .....	4
I.1.2 Somme des grandeurs sinusoïdales de même pulsation.....	5
I.1.3 Quelques valeurs particulières du déphasage. ....	6
I.2 Nombres complexes .....	7
I.2.1 Existence et définition .....	7
I.2.2 Complexe conjugué .....	8
I.2.3 Module d'un nombre complexe .....	8
I.2.4 Argument d'un nombre complexe .....	8
I.2.5 Forme trigonométrique d'un nombre complexe .....	8
<b>II. ELEMENTS PHYSIQUES.....</b>	<b>9</b>
II.1 Courant alternatif.....	9
II.1.1 Définitions.....	9
II.1.2 Déphasage .....	10
II.1.3 Courant monophasé, biphasé, triphasé. ....	11
II.2 Résistor .....	12
II.2.1 Description .....	12
II.2.2 Résistance électrique .....	12
II.2.3 Résistivité d'un conducteur .....	13
II.2.4 La loi d'ohm pour un conducteur ohmique. ....	14
II.2.5 Association de résistors : .....	14
II.2.6 Conducteur ohmique en régime sinusoïdal forcé. (H.Fraude, 1970) .....	16
II.3 Condensateur.....	19
II.3.1 Définition .....	19
II.3.2 Capacité d'un ensemble de condensateurs.....	20
II.3.3 Circuit RC série en régime sinusoïdal forcé. ....	22
II.4 Bobine.....	26
II.4.1 Description .....	26

II.4.2	Flux d'auto-induction et inductance. ....	27
II.4.3	Circuit RL série en régime sinusoïdal forcé.....	28
II.5	Fonction de filtrage .....	31
II.5.1	Introduction .....	31
II.5.2	Notion de spectre.....	31
II.5.3	Notation complexes. ....	32
II.5.4	Impédances complexes ( R.Arnal, 1970 ;L.Bessonov, 1968 ;T.Nelson, 1988) ....	32
II.5.5	Association de dipôles passifs.....	33
II.6	Etude des filtres .....	35
II.6.1	Fonction de transfert.....	35
II.6.2	Décibels.....	35
II.6.3	Fréquence de coupure.....	36
II.6.4	Diagramme de Bode .....	36
II.6.5	Fonction de transfert du premier ordre. ....	37
II.6.6	Fonction de transfert du second ordre .....	41
<b>DEUXIEME PARTIE.....</b>		<b>45</b>
<b>I. ITINERAIRE D'APPRENTISSAGE .....</b>		<b>45</b>
I.1	Phase de présentation du module .....	47
I.2	Phase de préparation au module.....	48
I.3	Etude des circuits (RL) et (RC) série en régime sinusoïdal forcé.....	48
<b>II. MODULE D'APPRENTISSAGE.....</b>		<b>51</b>
II.1	Fenêtres relatives à la phase de présentation du module .....	51
II.1.1	Interface d'accueil .....	51
II.1.2	Objectifs.....	52
II.1.3	« Introduction » .....	53
II.2	Fenêtres relatives à la phase de préparation au module.....	54
II.2.1	Les thèmes abordés.....	54
II.2.2	Résistor .....	55
II.2.3	Bobine.....	56
II.2.4	Condensateur.....	59
II.2.5	Générateur de fréquence variable.....	62
II.2.6	Oscilloscope .....	63



II.2.7	Manuel de l'oscilloscope .....	64
II.2.8	Courant alternatif.....	65
II.2.9	Son.....	67
II.3	Fenêtres relatives à l'étude des circuits RL et RC .....	68
II.3.1	Situation problème et hypothèse .....	68
II.3.2	Etude d'un circuit RL en régime sinusoïdal forcé.....	76
II.3.3	Etude d'un circuit RC en régime sinusoïdal forcé .....	92
II.4	Fenêtres relatives à l'évaluation formative .....	108
<b>CONCLUSION.....</b>		<b>114</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>		<b>I</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vecteur tournant associé à une grandeur sinusoïdale de pulsation $\omega$ et de phase $\omega t + \varphi$ .....	4
Figure 2 : Somme de deux vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales .....	5
Figure 3 : Deux vecteurs tournants et les fonctions sinusoïdales associées .....	6
Figure 4 : Vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales en phase .....	6
Figure 5 : Vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales en opposition de phase.....	7
Figure 6 : Vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales en quadrature de phase.....	7
Figure 7 : Courant alternatif.....	9
Figure 8 : Alternance .....	10
Figure 9 : Courant diphasé .....	11
Figure 10 : Courant triphasé .....	11
Figure 11 : Résistors de faible puissance .....	12
Figure 12 : Résistor pour réseaux d'atténuation .....	12
Figure 13 : Circuit simple comportant un générateur et un conducteur ohmique .....	13
Figure 14 : Résistor en série.....	14
Figure 15 : Résistor en parallèle .....	15
Figure 16 : Résistor branché sur un générateur de courant alternatif .....	16
Figure 17 : Tension et courant en phase .....	17
Figure 18 : Circuit pour mesurer l'amplitude de tension .....	17
Figure 19 : Condensateurs non polarisés .....	19
Figure 20 : Constituants d'un condensateur.....	19
Figure 21 : Diélectrique d'épaisseur $e$ dans un condensateur .....	20
Figure 22 : Condensateurs en série .....	21
Figure 23 : Condensateur en parallèle .....	21
Figure 24 : Condensateur en série-parallèle.....	22
Figure 25 : Circuit RC série en régime sinusoïdal forcé .....	23
Figure 26 : Diagramme de Fresnel pour un circuit RC série .....	24
Figure 27 : $I = f(\omega)$ dans un circuit RC série en régime sinusoïdal forcé .....	25
Figure 28 : $Z = f(\omega)$ dans un circuit RC série en régime sinusoïdal forcé.....	25
Figure 29 : Bobines à air et à noyau de ferrite.....	26
Figure 30 : Spire parcourue par un courant.....	27
Figure 31 : Circuit (RL) série en régime sinusoïdal forcé .....	29
Figure 32 : Diagramme de Fresnel pour un circuit RL série.....	29
Figure 33 : Circuit RL série .....	30
Figure 34 : Circuit RL série : $I = f(N)$ .....	30
Figure 35 : Filtre.....	31

Figure 36 : Spectre d'un signal.....	32
Figure 37 : Image d'un nombre complexe.....	32
Figure 38 : Diagramme de Bode.....	37
Figure 39 : Diagramme de Bode pour un filtre passe-bas .....	38
Figure 40 : Filtre passe-bas RC .....	38
Figure 41 : Diagramme de Bode pour un filtre passe-bas .....	39
Figure 42 : Filtre passe-bas RL.....	39
Figure 43 : Diagramme de Bode pour un filtre passe-haut .....	40
Figure 44 : Filtre passe-haut.....	40
Figure 45 : diagramme de Bode pour un filtre passe-bande .....	42
Figure 46 : filtre passe-bande de structure Wien .....	43
Figure 47 : itinéraire d'apprentissage.....	46
Figure 48 : Phase de présentation du module .....	47
Figure 49 : Phase de préparation au module.....	48
Figure 50 : 1 <sup>ère</sup> étape de l'étude des circuits (RL) et (RC) .....	48
Figure 51 : Montage des circuits RL et RC relatif à la situation problème .....	49

## INTRODUCTION

Les utilisations des résistors, des bobines et des condensateurs sont nombreuses, mais la plupart nécessitent des connaissances plus poussées en électricité et même en électronique. On peut citer entre autres les oscillateurs qui servent d'horloge, les filtres actifs dans le traitement audio, les amplificateurs des appareils audio et vidéo.

Certaines applications telles que les filtres passifs « passe-haut » et « passe-bas » peuvent être insérées en classes terminales scientifiques compte tenu du fait qu'ils font intervenir des notions qui font partie du programme de ces classes. Ces filtres sont utilisés par exemple dans les enceintes acoustiques pour aiguiller les fréquences sur les haut-parleurs de telle manière que les haut-parleurs de basse ne reçoivent que les fréquences basses et que les haut-parleurs aigus ne reçoivent que les fréquences élevées. Un filtre « passe-bas » est un circuit électronique qui laisse passer les basses fréquences et atténue les hautes fréquences tandis qu'un filtre « passe-haut » laisse passer les fréquences élevées et atténue les basses fréquences.

Il nous semble que l'étude de ces filtres en classe terminale scientifique est très pertinente dans la mesure où elle montre une application courante de l'électricité/électronique dans la vie quotidienne. Elle offre une occasion pour concrétiser l'enseignement de la Physique et réconcilier les élèves avec cette matière qui, pour la plupart d'entre eux, est trop théorique.

Cet enseignement souffre actuellement d'un manque ou d'une insuffisance de matériels d'expérimentation d'où cette orientation tournée vers la théorie plutôt que vers l'expérience.

Un enseignement/apprentissage de la Physique qui s'appuie sur l'utilisation de ressources numériques contenant des animations/ simulations des phénomènes à étudier peut-être une solution à ce manque de matériels. En effet, à défaut de manipulations réelles, on peut proposer à nos élèves des travaux pratiques virtuels qui les préparent à la démarche expérimentale, un des objectifs généraux de l'enseignement de la Physique à atteindre.

C'est dans cette optique que ce mémoire de fin d'études se propose de simuler sur ordinateur les réponses des circuits RL et RC série en régime sinusoïdal forcé.

Le travail se divise en deux parties. La première partie met en place des repères théoriques correspondants au thème étudié et la deuxième partie concerne la mise en œuvre du didacticiel de simulation que nous avons conçu et élaboré.

Les repères théoriques portent sur des éléments mathématiques et physiques nécessaires pour l'étude des circuits RL et RC en régime sinusoïdal forcé.

Le logiciel de simulation présente des travaux pratiques virtuels. Le thème d'étude est introduit par une situation problème qui porte sur l'analyse du son émis par un haut-parleur raccordé sur un filtre passe-haut et un filtre passe-bas. Des hypothèses qui peuvent expliquer les résultats obtenus sont proposées et font l'objet d'études des travaux pratiques virtuels. Quatre travaux pratiques sont programmés pour le circuit RL et quatre pour le circuit RC. Ils étudient :

- la réponse d'un circuit RL/RC série à un son grave et à un son aigu, le circuit étant raccordé sur un générateur de fréquence variable
- l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes de (du) la bobine/condensateur en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit, la fréquence étant maintenue constante
- l'évolution de l'amplitude du courant qui traverse le circuit RL/RC en fonction de la fréquence.
- le déphasage entre courant et tension en fonction de la fréquence pour un circuit RL/RC.

# PREMIERE PARTIE

# REPERES THEORIQUES

## I. ELEMENTS MATHEMATIQUES

### I.1 Construction de Fresnel.

(L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987; R.Arnal, 1970; H.Fraude, 1970)

#### I.1.1 Représentation de Fresnel d'une grandeur sinusoïdale

Soit  $s_1 = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$  une grandeur sinusoïdale. Soit un repère orthonormé  $(o, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  de sorte que dans le plan  $(o, \vec{i}, \vec{j})$  on associe le vecteur  $\vec{OA}_1$  tel que :

$$- \|\vec{OA}_1\| = a_1$$

$$- (\vec{i}, \vec{OA}_1) = \omega t + \varphi_1$$

$$- \vec{OA}_1 \text{ tourne autour de } O \text{ à la vitesse angulaire } \vec{\omega} = \omega \vec{k}$$

A chaque instant :

$$\vec{OA}_1 \cdot \vec{i} = OA_1 \cos(\vec{i}, \vec{OA}_1)$$

$$\vec{OA}_1 \cdot \vec{i} = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

Donc, à toute grandeur sinusoïdale de pulsation  $\omega$ , on peut faire correspondre un vecteur du plan  $(o, \vec{i}, \vec{j})$  tournant à la vitesse angulaire  $\vec{\omega} = \omega \vec{k}$ . Inversement, à tout vecteur tournant du plan, on pourra faire correspondre une grandeur sinusoïdale ayant une pulsation égale à la vitesse angulaire de rotation.

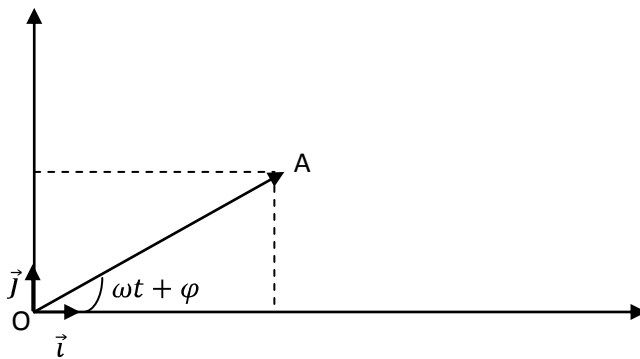


Figure 1 : Vecteur tournant associé à une grandeur sinusoïdale de pulsation  $\omega$  et de phase  $\omega t + \varphi$

### I.1.2 Somme des grandeurs sinusoïdales de même pulsation.

Soit  $s$  une grandeur sinusoïdale qui résulte de la somme de deux grandeurs sinusoïdales  $s_1$  et  $s_2$  de même pulsation  $\omega$ .

$$s_1 = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$s_2 = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$s = s_1 + s_2 = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Comme on a déjà vu précédemment dans le plan  $(o, \vec{i}, \vec{j})$ , on peut associer deux vecteurs tournants car l'on a deux grandeurs sinusoïdales :

A  $s_1$  correspond le vecteur  $\overrightarrow{OA_1}$

A  $s_2$  correspond le vecteur  $\overrightarrow{OA_2}$

Soit  $\overrightarrow{OA}$  la somme des vecteurs  $\overrightarrow{OA_1}$  et  $\overrightarrow{OA_2}$

$$\overrightarrow{OA} = \overrightarrow{OA_1} + \overrightarrow{OA_2}$$

$$\overrightarrow{OA} \cdot \vec{i} = \overrightarrow{OA_1} \cdot \vec{i} + \overrightarrow{OA_2} \cdot \vec{i}$$

$$s = s_1 + s_2$$

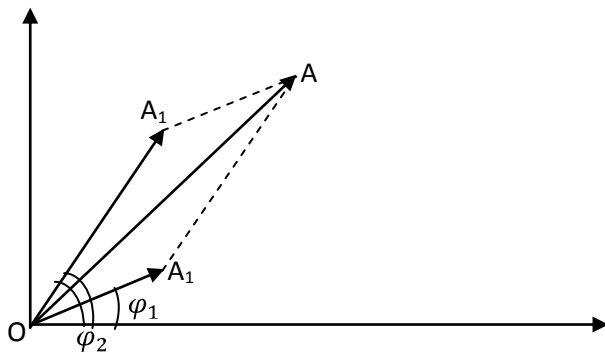


Figure 2 : Somme de deux vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales

On trouve que le vecteur  $\overrightarrow{OA}$  tournant à la vitesse angulaire  $\omega$  représente bien le vecteur associé à la somme des deux fonctions sinusoïdales  $s_1$  et  $s_2$ . On a trouvé aussi qu'à tout vecteur tournant du plan on peut associer une grandeur sinusoïdale  $s = a \cos(\omega t + \varphi)$  tels que  $a$  et  $\varphi$  sont à déterminer.

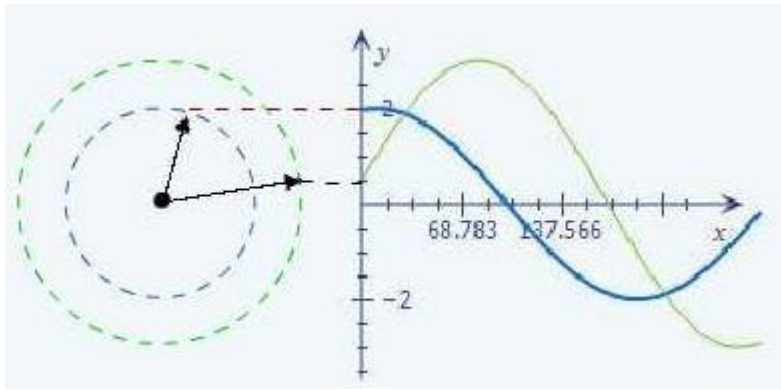
Différence de phase entre deux fonctions sinusoïdales de même pulsation :

Reprenons les grandeurs sinusoïdales  $s_1$  et  $s_2$

$$s_1 = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$s_2 = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$





**Figure 3 : Deux vecteurs tournants et les fonctions sinusoïdales associées**

La représentation de Fresnel donne immédiatement leur différence de phase ou encore déphasage.

$$\varphi_d = \varphi_2 - \varphi_1$$

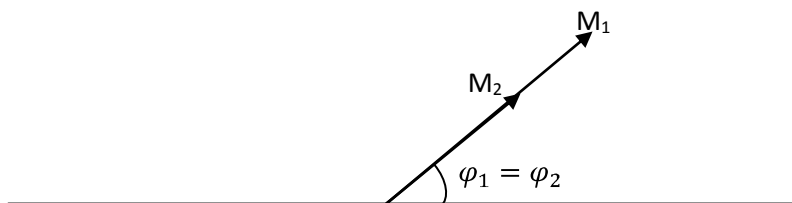
A cette différence de phase correspond un décalage horaire, égal au temps  $t_d$  que mettrait le vecteur tournant  $\overrightarrow{OA_1}$  pour passer de la direction  $(OM_1)$  à la direction  $(OM_2)$  ; et on trouve

$$t_d = \frac{|\varphi_d|}{\omega}$$

### I.1.3 Quelques valeurs particulières du déphasage.

#### **Fonctions en phase**

Deux fonctions sinusoïdales sont en phase si  $\varphi_d = 0$  ou  $2k\pi, k \in \mathbb{Z}$  ; c'est-à-dire qu'elles s'annulent aux mêmes instants et atteignent ensemble leurs valeurs maximales et minimales



**Figure 4 : Vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales en phase**

### ***Fonction en opposition de phase.***

Deux fonctions sinusoïdales sont en opposition de phase si  $\varphi_d = \pi$  ou  $\pi + 2k\pi, k \in \mathbb{Z}$  ; c'est-à-dire qu'elles s'annulent en même temps mais l'une est maximale quand l'autre est minimale et réciproquement.

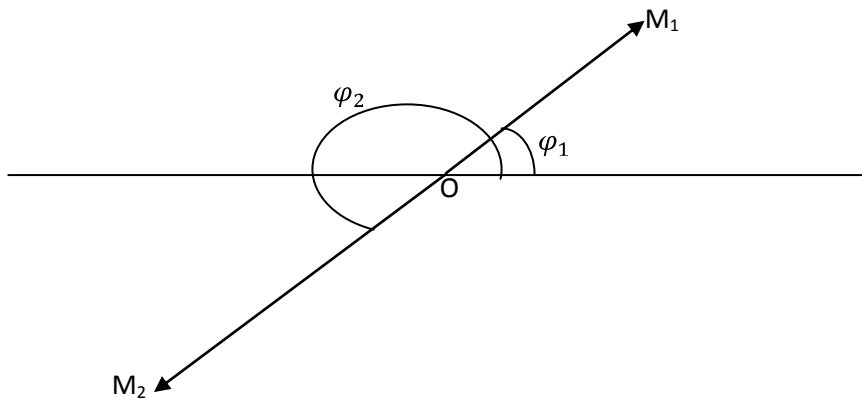


Figure 5 : Vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales en opposition de phase

### ***Fonction en quadrature de phase.***

Deux fonctions sinusoïdales sont en quadrature de phase si  $\varphi_d = \frac{\pi}{2}$  ou  $\frac{\pi}{2} + 2k\pi, k \in \mathbb{Z}$  ; c'est-à-dire que l'une est maximale ou minimale quand l'autre s'annule et vis versa.

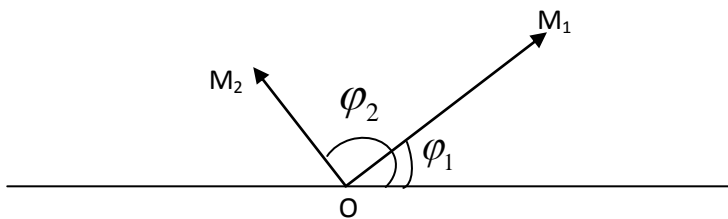


Figure 6 : Vecteurs tournants représentant deux grandeurs sinusoïdales en quadrature de phase

## **I.2 Nombres complexes**

(R.Barra, 1989)

### **I.2.1 Existence et définition**

On appelle nombre complexe un nombre de la forme  $z = a + ib$  où a et b sont des nombres réels et  $i$  un **nombre fictif** tels que  $i^2 = -1$ . En électricité ou en électronique on utilise  $j$  pour ne pas le confondre avec l'intensité du courant.

### 1.2.2 Complexe conjugué

#### Définition

On appelle conjugué du nombre complexe  $z = a + ib$  le nombre complexe noté  $\bar{z}$  tel que  $\bar{\bar{z}} = z$  et  $\bar{z} = a - ib$

#### Propriétés

$$\begin{aligned} * \bar{\bar{z}} &= z & * \overline{z^n} &= (\bar{z})^n & * \overline{z + z'} &= \bar{z} + \bar{z'} & * \overline{z \cdot z'} &= \bar{z} \cdot \bar{z'} & * \overline{\left(\frac{z}{z'}\right)} &= \frac{\bar{z}}{\bar{z'}} \end{aligned}$$

### 1.2.3 Module d'un nombre complexe

#### Définition

Soit  $z = a + ib$  un nombre complexe : on appelle module de  $z$  le nombre réel positif ou nul noté  $|z|$  tel que  $|z| = \sqrt{z \cdot \bar{z}}$

#### Propriétés

$$\begin{aligned} * |z| &= |-z| = |\bar{z}| & * \left|\frac{z}{z'}\right| &= \frac{|z|}{|z'|} & * |z \cdot z'| &= |z| \cdot |z'| & * |z^n| &= |z|^n & * |z + z'| &\neq |z| + |z'| \end{aligned}$$

### 1.2.4 Argument d'un nombre complexe

#### Définition

Dans un plan complexe rapporté à un repère  $(O, \vec{u}, \vec{v})$  soit  $M(z)$ . On appelle argument de  $z$  le nombre réel noté  $\arg(z)$  tel que  $\arg(z) = (\vec{u}, \overrightarrow{OM})[2\pi]$

#### Propriétés

$$\begin{aligned} * \arg(z \cdot z') &= \arg(z) + \arg(z') \\ * \arg(z^n) &= n \arg(z) \\ * \arg\left(\frac{z}{z'}\right) &= \arg(z) - \arg(z') \end{aligned}$$

### 1.2.5 Forme trigonométrique d'un nombre complexe

#### Définition

Soit un nombre complexe  $z = a + ib$ , d'argument  $\theta$  et de module  $\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$  :

$$\left. \begin{array}{l} \cos \theta = \frac{a}{\rho} \Rightarrow a = \rho \cos \theta \\ \sin \theta = \frac{b}{\rho} \Rightarrow b = \rho \sin \theta \end{array} \right| \Rightarrow z = \rho(\cos \theta + i \sin \theta) \Rightarrow z = \rho e^{i\theta}$$

**Opération sur les complexes sous forme trigonométrique.**

$$*z.z' = \rho.\rho' [\cos(\theta + \theta') + i \sin(\theta + \theta')] \Rightarrow z.z' = \rho.\rho' e^{i(\theta + \theta')}$$

$$*z^n = \rho^n [\cos(n\theta) + i \sin(n\theta)] \Rightarrow z^n = \rho^n e^{i(n\theta)}$$

$$*\frac{z}{z'} = \frac{\rho}{\rho'} [\cos(\theta - \theta') + i \sin(\theta - \theta')] \Rightarrow \frac{z}{z'} = \frac{\rho}{\rho'} e^{i(\theta - \theta')}$$

## II. ELEMENTS PHYSIQUES

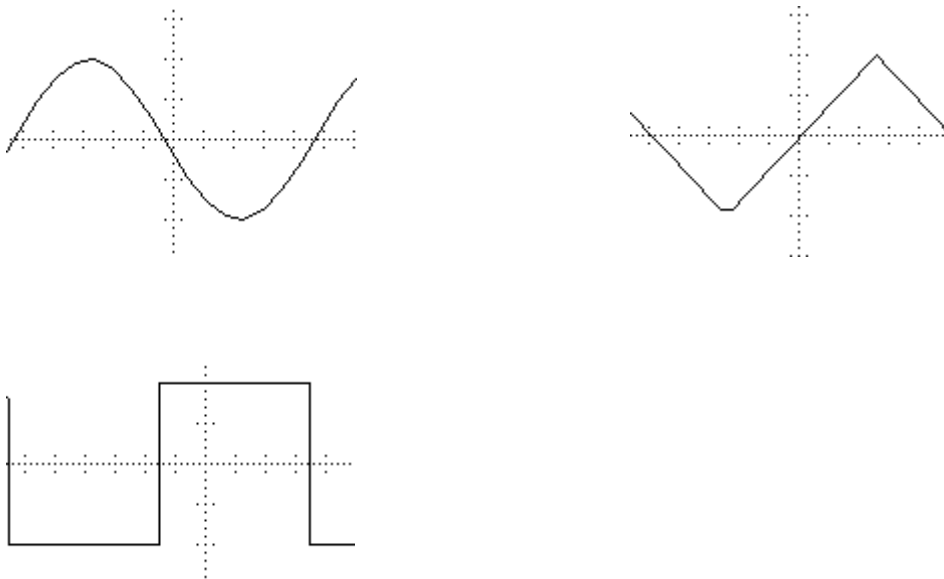
### II.1 Courant alternatif

(L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987; L.Bessonov, 1968; J.Cessac, 1986; H.Fraude, 1970; B.Yavorski & A.Detlaf, 1975)

#### II.1.1 Définitions

##### **Courant alternatif**

On appelle courant alternatif un courant périodique, qui change de sens deux fois par période et transporte alternativement, dans un sens et dans l'autre, des quantités d'électricité égales. (J.Cessac, 1986)



**Figure 7 : Courant alternatif**

### **Fréquence**

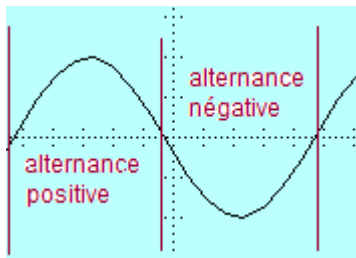
La fréquence du courant (en Hertz) est égale au nombre de périodes par seconde. (J.Cessac, 1986)

$$N = \frac{1}{T}$$

$N$  en Hertz  
 $T$  en seconde

### **Alternance**

Une alternance est l'intervalle de temps séparant deux changements de sens consécutifs du courant ; une période comprend donc deux alternances. (J.Cessac, 1986)



**Figure 8 : Alternance**

### **Courant alternatif sinusoïdal**

Un courant alternatif sinusoïdal est un courant de valeur et de sens continuellement variables, selon une variation bien déterminée et qui se rapproche fort de la fonction sinusoïdale. (J.Cessac, 1986)

$$i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

$I_m$  est la valeur absolue de l'intensité maximale et est appelée « amplitude de courant »

$\omega$  la pulsation en  $rad.s^{-1}$  est reliée à la fréquence ainsi qu'à la période par la relation suivante :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi N$$

#### **II.1.2 Déphasage**

Deux courants alternatifs peuvent être, soit en phase, soit en avance de phase ou bien en retard de phase l'un par rapport à l'autre, soit en opposition de phase ou en quadrature de phase. (J.Cessac, 1986)

### II.1.3 Courant monophasé, biphasé, triphasé.

#### ***Courant monophasé***

Un courant alternatif monophasé est un courant composé d'une seule phase. C'est ce type de courant qu'on utilise dans les foyers. (L.Bessonov, 1968; H.Fraude, 1970; L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987)

#### ***Courant diphasé***

Dans un circuit plus complexe comme l'indique la figure ci-dessous, on utilise à la fois des courants de deux générateurs alternatifs, ces courants étant déphasés l'un par rapport à l'autre de  $\frac{1}{4}$  de période. On a un système de courant diphasé. (L.Bessonov, 1968; H.Fraude, 1970; L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987)

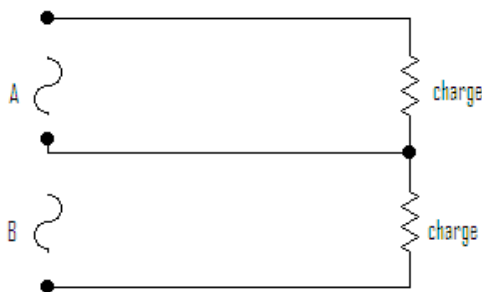


Figure 9 : Courant diphasé

#### ***Courant triphasé***

Dans un circuit complexe indiqué par la figure ci-dessous (circuit dit en étoile), on utilise à la fois des courants de trois générateurs alternatifs, qui sont déphasés de  $\frac{1}{3}$  de période chacun. Alors on a un système de courant triphasé. (L.Bessonov, 1968; H.Fraude, 1970; L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987)

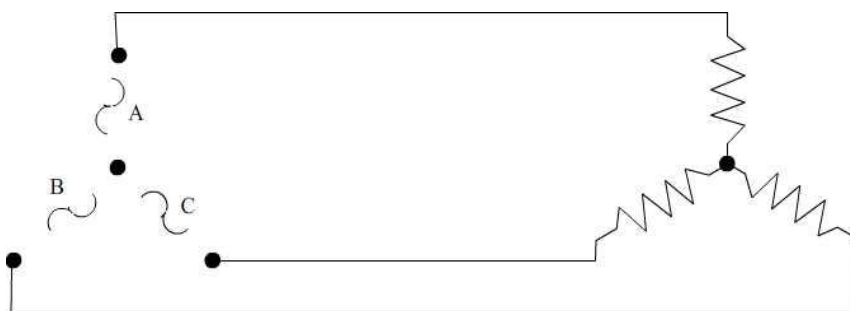


Figure 10 : Courant triphasé

On utilise le courant triphasé dans le domaine industriel.

## II.2 Résistor

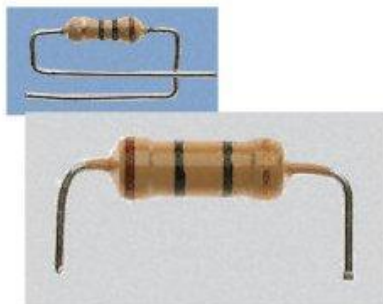
<http://WWW.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/lycom/Electro/Cours-Electro/resistor.htm>

### II.2.1 Description

Un résistor est un petit cylindre formé à partir de différents matériaux comme du carbone, un fil de cuivre émaillé enroulé de façon à ce que l'inductance s'annule. Il est caractérisé par sa résistance, connue à partir du code couleur ou en mesurant directement avec un ohmmètre, et par sa puissance. Actuellement on trouve des résistors plus grands en forme de prisme droit, qui supportent des intensités de l'ordre de 1A à 5A voir même plus. (M.Edward, 1973; H.Fraude, 1970)

### Résistors de faible puissance

Résistors à couche de carbone

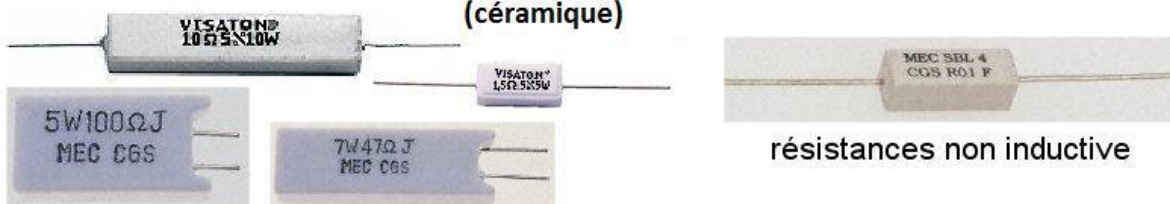


Résistor à couche métallique



Figure 11 : Résistors de faible puissance

Résistor pour réseaux d'atténuation  
(céramique)



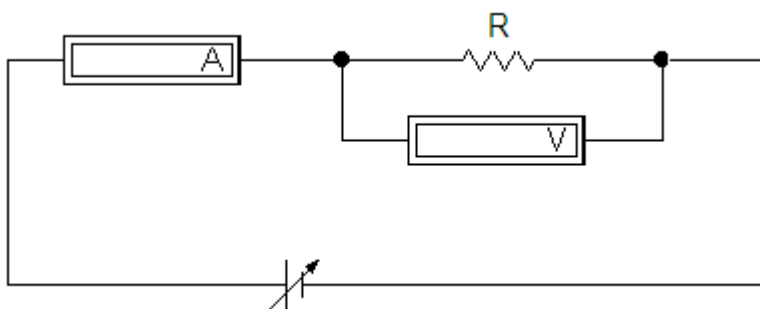
résistances non inductive

Ce type de résistance convient bien pour la réalisation d'un réseau d'atténuation (en particulier pour "réduire" la sensibilité des tweeters vis à vis des haut-parleurs de médium et de grave)

Figure 12 : Résistor pour réseaux d'atténuation

### II.2.2 Résistance électrique

Soit le schéma du montage suivant :



**Figure 13 : Circuit simple comportant un générateur et un conducteur ohmique**

Si on fait varier la tension du générateur, la tension aux bornes du dipôle change aussi et à chaque tension donnée on relève l'intensité du courant qui parcourt le circuit. On trouve que le rapport de chaque tension et de l'intensité du courant correspondante à cette tension est sensiblement égal et que ce rapport dépend uniquement de la caractéristique du conducteur. Ainsi il peut servir à caractériser la résistance du dipôle.

**Définition** (H.Fraude, 1970)

La résistance d'un conducteur est mesurée par le rapport de la tension aux bornes du conducteur à l'intensité du courant qui le traverse. On le désigne souvent par  $R$  tel que :

$$R = \frac{U}{I}$$

$U$  en Volt (V) ;  $I$  en Ampère (A)  
 $R$  en ohm ( $\Omega$ )

### II.2.3 Résistivité d'un conducteur

La résistance électrique d'un conducteur donné dépend :

- de la nature du conducteur : par exemple le cuivre est meilleur conducteur que le fer, et les isolants sont considérés comme des conducteurs de très grande résistivité de telle sorte que le courant qui les traverse soit nul.
- de la longueur du conducteur : la résistance d'un conducteur augmente avec sa longueur.

Pour un fil conducteur, la résistance est inversement proportionnelle à sa section.

Ainsi la résistance d'un fil conducteur est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section ; elle dépend aussi de la nature du conducteur qui est caractérisée par sa résistivité  $\rho$ .

Soit  $l$  la longueur du fil et  $s$  sa section alors :



$$R = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad \rho \text{ en } \Omega.m \quad ; \quad l \text{ en } m \quad ; \quad s \text{ en } m^2 \quad \text{et} \quad R \text{ en } \Omega$$

Quelques valeurs de résistivité  $\rho$  :

Matière	Résistivité en $\Omega.m$	Matière	Résistivité en $\Omega.m$
Argent	$1,48.10^{-8}$	Fer	$10,4.10^{-8}$
Cuivre	$1,6.10^{-8}$	Plomb	$20,5.10^{-8}$
Aluminium	$2,9.10^{-8}$	Maillechort	$30,0.10^{-8}$
Zinc	$5,6.10^{-8}$	Manganine	$46,0.10^{-8}$
Laiton	$5,4.10^{-8}$	Constantan	$50,0.10^{-8}$

(H.Fraude, 1970)

#### II.2.4 La loi d'ohm pour un conducteur ohmique.

La différence de potentiel (en Volt) aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de sa résistance (en ohm) par l'intensité (en Ampère) du courant qui le traverse.

$$U = R \cdot I \quad (\text{L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, \& R.Le Goff, 1987; M.Edward, 1973; R.Kronig, 1962})$$

#### II.2.5 Association de résistors :

##### *Association en série*

On considère le dipôle AB formé par n résistors en série de résistances respectives :

$$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$$

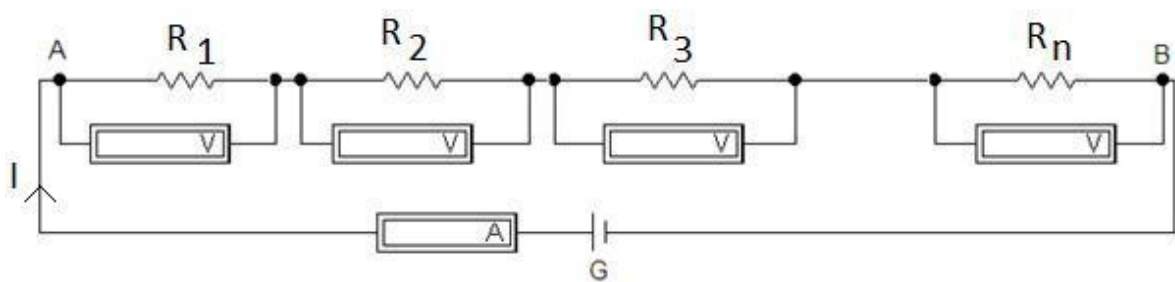


Figure 14 : Résistor en série

Soient :

$U$  : la tension aux bornes du dipôle AB.

$I$  : le courant qui traverse le circuit

$U_1, U_2, U_3 \dots U_n$  les tensions respectives aux bornes des résistors

On trouve que  $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$

Or la tension aux bornes d'un résistor  $R_i$  parcouru par un courant d'intensité  $I_i$  est  $U_i = R_i \cdot I_i$

Donc :

$$U = R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots + R_n I$$

$$U = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) I$$

Soit  $R_e$  la résistance équivalente du dipôle AB, alors  $U = R_e \cdot I$

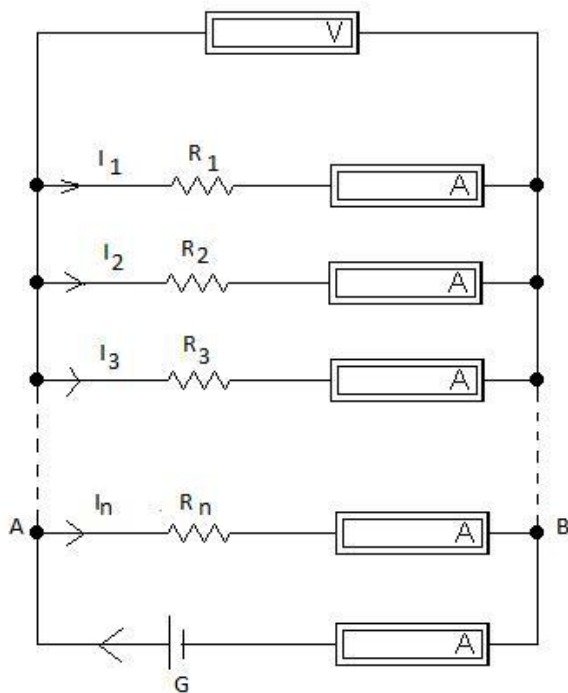
$$R_e \cdot I = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) I$$

$$\Rightarrow \boxed{R_e = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)}$$

**Les résistances des conducteurs ohmiques montés en série s'ajoutent.**

### **Association en parallèle**

Soit le dipôle AB formé par n résistors en parallèle :



**Figure 15 : Résistor en parallèle**

Soient  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$  les tensions respectives aux bornes des résistors et  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  les courants qui les parcourent.

Dans un circuit en parallèle  $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$

Or pour un résistor de résistance  $R_i$ ,  $U_i = R_i \cdot I_i \Rightarrow I_i = \frac{U_i}{R_i}$

On a donc

$$\frac{U}{R_e} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \text{ or } U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$

$$\Rightarrow \frac{U}{R_e} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

***L'inverse de la résistance équivalente de l'ensemble est égale à la somme des inverses des résistances montées en parallèle.***

## II.2.6 Conducteur ohmique en régime sinusoïdal forcé. (H.Fraude, 1970)

### ***Définition de la résistance pure***

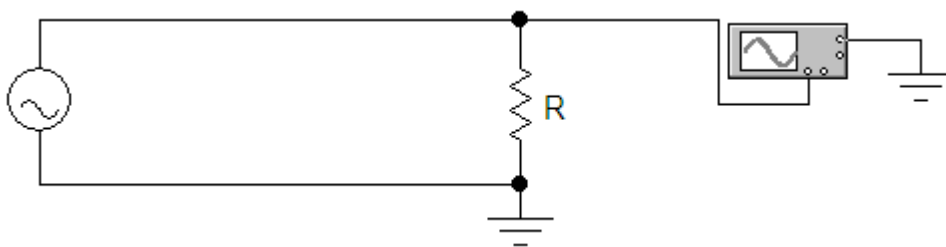
Une résistance pure est un conducteur passif, sans inductance ni capacité. On l'appelle aussi parfois résistance non inductive.

C'est le cas idéal. Mais dans la réalité, tout conducteur traversé par un courant d'intensité  $i$  crée un champ dans l'espace qui l'entoure et par conséquent possède une certaine inductance. Cette inductance est cependant très faible et on peut la négliger. De ce fait on peut considérer les lampes à incandescence, les rhéostats, les résistances chauffantes, les résistors comme étant des résistances pures.

Ainsi on peut appliquer la loi d'ohm pour un résistor alimenté par un courant alternatif.

### ***Déphasage***

Soit un générateur de courant alternatif qui fournit un courant d'intensité  $i(t) = I_m \sin(\omega t)$  et qui est branché aux bornes d'un résistor de résistance  $R$ .



**Figure 16 : Résistor branché sur un générateur de courant alternatif**

Théoriquement la tension et le courant ont la même période donc la même pulsation. Elles sont en phase.

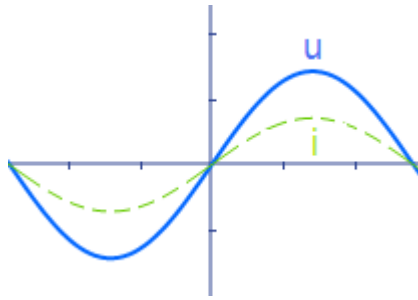


Figure 17 : Tension et courant en phase

Soient  $U_G$  et  $U_R$  les tensions aux bornes du générateur et du résistor.

D'après la loi des mailles dans un circuit fermé la somme algébrique des tensions dans un circuit fermé est nulle.

On a :

$$u_G = u_R$$

$$\text{Or } u_R = R.i \quad \text{avec } i = I_m \sin(\omega t) \Rightarrow \underline{u_R = RI_m \sin(\omega t)}$$

$$\text{Donc } u_G = u_R = RI_m \sin(\omega t) \Rightarrow \boxed{\varphi = 0}$$

### ***Relation entre tension efficace et tension maximale***

Reprenant le montage de la figure précédente et ajoutant un voltmètre pour mesurer la tension efficace aux bornes du résistor et un ampèremètre pour donner l'intensité efficace du circuit. La tension maximale est donnée par la courbe de l'oscilloscope.

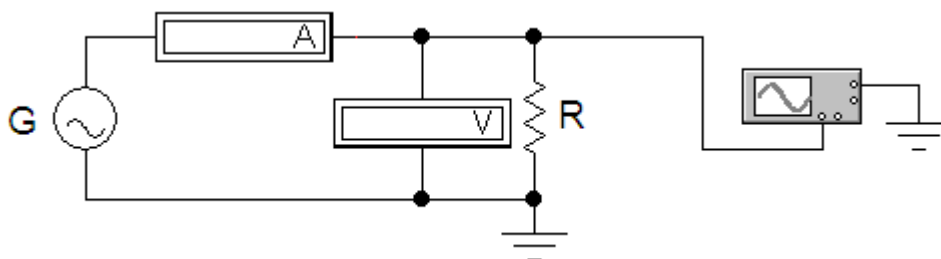


Figure 18 : Circuit pour mesurer l'amplitude de tension

Le rapport entre la tension maximale et la tension efficace est constant et est égal à  $\sqrt{2}$

$$\boxed{U_m = U\sqrt{2}} \quad (1)$$

$U_m$  : Tension maximale aux bornes du résistor

$U$  : Tension efficace aux bornes du résistor

La tension efficace aux bornes du résistor est proportionnelle à l'intensité efficace avec un coefficient de proportionnalité qui est égal à la résistance du résistor (loi d'ohm).

$$U = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$I$  : Intensité efficace du courant qui traverse le circuit.

$R$  : Résistance du résistor

En outre, la tension et l'intensité sont en phase alors :  $U_m = R \cdot I_m \Rightarrow I_m = \frac{U_m}{R}$

$I_m$  : Intensité maximale du courant.

A partir de ces trois relations on a :

$$U\sqrt{2} = R \cdot I_m \Rightarrow I_m = \frac{U\sqrt{2}}{R} \text{ or } I = \frac{U}{R}$$

Donc :  $I_m = I\sqrt{2}$  (2)

Remarque

Les relations (1) et (2) sont toujours valables pour des dipôles autres que les résistors ; dans ce cas la résistance  $R$  sera remplacé par  $Z$  qui est l'impédance du circuit que nous verrons plus tard.

### ***Facteur de puissance***

La puissance active et la puissance réactive sont respectivement données par  $P = UI \cos \varphi$  et  $Q = UI \sin \varphi$ . Or pour une résistance pure  $\varphi = 0$  donc :

$$\begin{array}{l} \cos \varphi = 1 \Rightarrow P = UI \\ \sin \varphi = 0 \Rightarrow Q = 0 \end{array}$$

$\cos \varphi$  est appelé facteur de puissance.

***Toute la puissance reçue est dissipée par effet Joule.***

## II.3 Condensateur

(M.Edward, 1973; H.Fraude, 1970; A.Kitaigorodski, 1982; R.Razafindrakoto & J.Raharijaona, 1998; R.Resnick, 1979; Y.Simon, 1973; R.Kronig, 1962)

<http://WWW.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Transitoire/Codensateurflash.htm#manip>

### II.3.1 Définition

On appelle condensateur un ensemble formé de deux conducteurs (appelés armatures) séparés l'un de l'autre par une couche isolante (appelée aussi diélectrique) qui peut être une couche d'air, une feuille de mica, de verre selon l'utilité et la capacité requise. (H.Fraude, 1970; B.Yavorski & A.Detlaf, 1975)

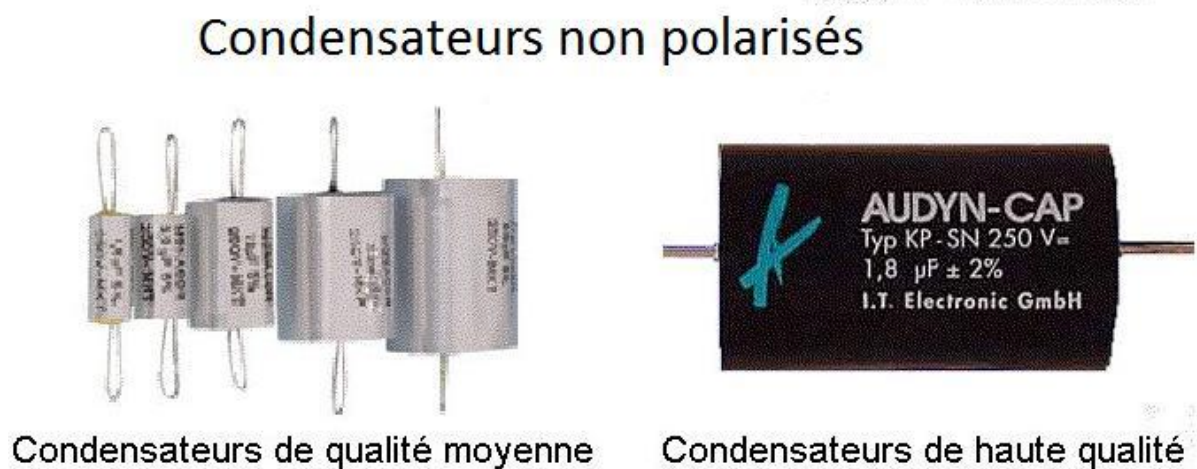


Figure 19 : Condensateurs non polarisés

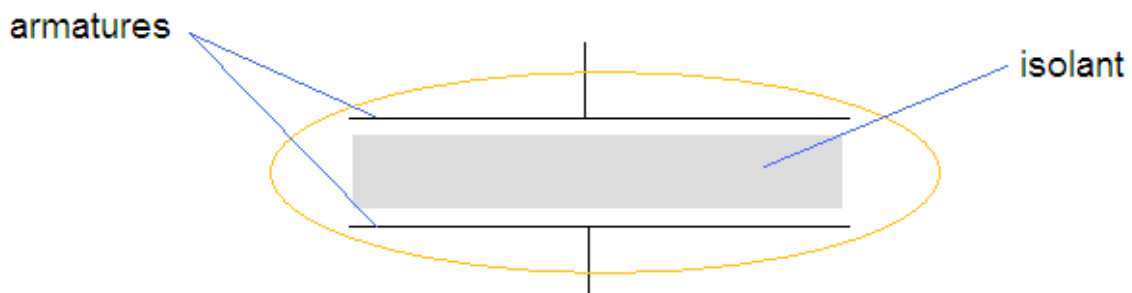


Figure 20 : Constituants d'un condensateur

- Relation entre charge et tension aux bornes d'un condensateur ainsi que sa capacité.

On mesure la charge d'un condensateur à l'aide d'un galvanomètre balistique. On trouve que la charge d'un condensateur est proportionnelle à la tension entre ses bornes.

Pour la traduction mathématique :

$$\boxed{Q = C.U} \quad (\text{M.Edward, 1973})$$

La constante C caractérise le condensateur et est appelé **capacité** du condensateur. Elle s'exprime en **Farads (F)**. On emploie souvent les sous multiples qui sont : les picofarads (pF), les nanofarads (nF), et les microfarads (μF).  $U$  (en Volt) est la tension entre les bornes du condensateur et  $Q$  (en coulomb) sa charge.

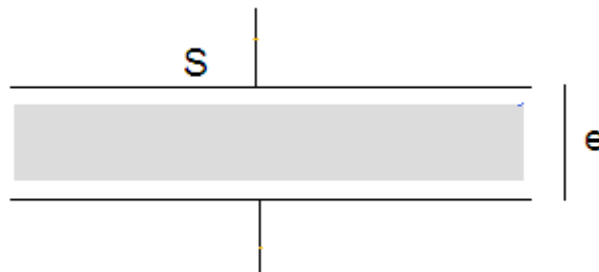
De cette relation on a

$$\boxed{C = \frac{Q}{U}}$$

**Ainsi on définit la capacité d'un condensateur comme le rapport constant de sa charge à la tension entre ses bornes. Elle dépend de la forme du condensateur et de la nature des diélectriques**

- *Influence de la forme du condensateur et de la nature du diélectrique*

Soit un condensateur à deux faces parallèles, chaque face admettant une surface  $S$ . Un isolant de constant diélectrique  $\epsilon_r$  et d'épaisseur  $e$  qui est petite par rapport à la dimension de  $S$ , se place entre les deux faces.



**Figure 21 : Diélectrique d'épaisseur  $e$  dans un condensateur**

Dans le cas où les surfaces en regard sont planes, on peut définir la capacité par la relation suivante :

$$\boxed{C = \epsilon \frac{S}{e}} \quad (\text{H.Fraude, 1970})$$

tel que  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$  ;  $\epsilon_0$  est la permittivité dans le vide et  $\epsilon$  la permittivité du diélectrique

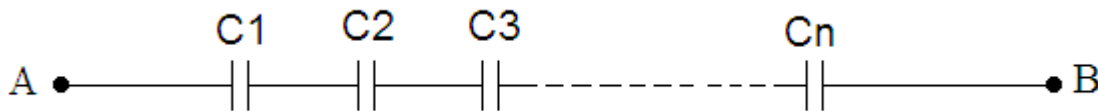
### **II.3.2 Capacité d'un ensemble de condensateurs**

Dans la pratique on rencontre souvent des capacités de condensateur qui n'existe pas dans les gammes de condensateur vendu, alors il faut associer en série, en parallèle ou même en série-parallèle deux ou plusieurs condensateurs pour avoir la capacité équivalente à la

capacité voulue. Ainsi le condensateur équivalent à des groupes de condensateurs est le condensateur unique qui prendrait la même charge sous la tension appliquée à l'ensemble.

### ***Condensateurs en série (M.Edward, 1973; H.Fraude, 1970)***

Soit le dipôle AB suivant qui est formé par une association en série de n condensateurs :



**Figure 22 : Condensateurs en série**

La relation entre les capacités des condensateurs du dipôle AB et sa capacité équivalente  $C_e$  est :

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

***L'inverse de la capacité du condensateur équivalent à des condensateurs groupés en série est égal à la somme de l'inverse de chaque condensateur du dipôle.***

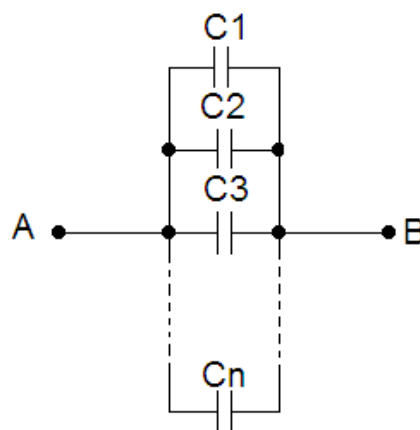
Remarque

Pour n condensateurs de capacité C montés en série, la capacité équivalente  $C_e$  est :

$$C_e = \frac{C}{n}$$

### ***Condensateurs en parallèle (M.Edward, 1973; H.Fraude, 1970)***

Soit le dipôle AB suivant qui est formé par une association en parallèle de n condensateurs.



**Figure 23 : Condensateur en parallèle**



La capacité équivalente  $C_e$  de cette association est :

$$C_e = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Donc la capacité du condensateur équivalent à des condensateurs groupés en parallèle est égale à la somme des capacités de chaque condensateur du dipôle.

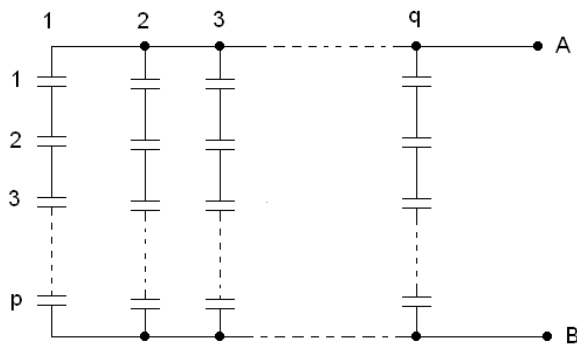
Remarque

Pour  $n$  condensateurs de même capacité  $C$  montés en série, la capacité équivalente est :

$$C_e = nC$$

### ***Condensateurs en série-parallèle (H.Fraude, 1970)***

Soit  $N$  condensateurs identiques de capacité  $C$ , dont  $p$  condensateurs sont en série et  $q$  série de  $p$  éléments sont montés en parallèle.



**Figure 24 : Condensateur en série-parallèle**

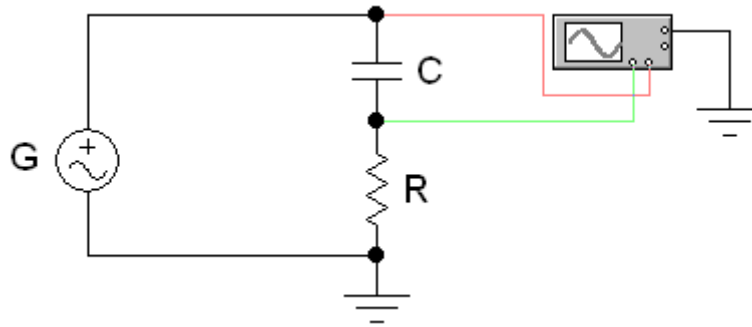
La capacité équivalente à cette association de condensateurs est :

$$C_e = \frac{q}{p} C$$

### **II.3.3 Circuit RC série en régime sinusoïdal forcé.**

(L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987; R.Arnal, 1970; L.Bessonov, 1968; J.Cessac, 1986; M.Edward, 1973; H.Fraude, 1970; R.Kronig, 1962; T.Nelson, 1988; R.Resnick, 1979; Y.Simon, 1973)

Soit le dipôle AB formé par un condensateur et un résistor montés en série. Le dipôle est alimenté par un générateur de courant alternatif d'intensité  $i(t) = I_m \sin(\omega t)$ .



**Figure 25 : Circuit RC série en régime sinusoïdal forcé**

La tension aux bornes du résistor R nous renseigne sur la courbe de l'intensité du courant car pour un résistor  $u$  et  $i$  sont proportionnelles à tout instant.

Soient  $u_G$ ,  $u_R$  et  $u_C$  les tensions aux bornes du générateur, du résistor et du condensateur.

D'après la loi des mailles :  $u_G = u_R + u_C$

$$\text{Avec } u_C = \frac{q}{C} \text{ or } i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = idt \Rightarrow q = \int idt \text{ avec } i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

Donc

$$q = \int I_m \sin(\omega t) dt \Rightarrow q = -\frac{I_m}{\omega} \cos(\omega t)$$

$$q = \frac{I_m}{\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$\text{D'où : } \boxed{u_C = \frac{I_m}{C\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})}$$

$$u_R = RI_m \sin(\omega t)$$

et  $u_G = U_m \sin(\omega t + \varphi)$   $\varphi$  est le déphasage entre tension et courant

On a donc

$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = RI_m \sin(\omega t) + \frac{I_m}{C\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$\vec{U}_G \left| \begin{array}{c} U_m \\ \varphi \end{array} \right. = \vec{U}_R \left| \begin{array}{c} RI_m \\ 0 \end{array} \right. + \vec{U}_C \left| \begin{array}{c} I_m/C\omega \\ -\pi/2 \end{array} \right.$$

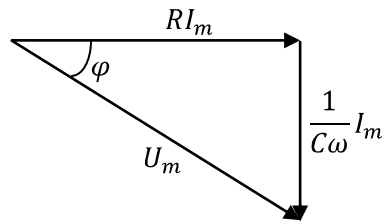


Figure 26 : Diagramme de Fresnel pour un circuit RC série

D'après ce diagramme on peut tirer les relations suivantes :

$$U_m^2 = (RI_m)^2 + \left(\frac{I_m}{C\omega}\right)^2 \Rightarrow U_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

On peut écrire :

$$U_m = ZI_m \text{ avec}$$

$$\Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

$Z$  l'impédance du circuit et  $X_C = \frac{1}{C\omega}$  est appelé « réactance capacité ». Elles sont mesurées en Ohm.

Le déphasage  $\varphi$  est tel que

$$\boxed{\cos \varphi = \frac{R}{Z}} \quad \text{d'où} \quad \cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Ou encore

$$\boxed{\tan \varphi = \frac{1}{RC\omega}}$$

Pour ce circuit

$$U = ZI \Rightarrow I = \frac{U}{Z} \Rightarrow I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Si  $\omega$  tend vers 0 alors  $\frac{1}{C\omega}$  tend vers  $\infty$  donc  $I$  tend vers 0

Si  $\omega$  tend vers  $\infty$  alors  $\frac{1}{C\omega}$  tend vers 0 donc  $I$  tend vers  $\frac{U}{R}$

Ainsi les représentations graphiques de  $I$  et  $Z$  en fonction de  $\omega$  sont :

- $I$  en fonction de  $\omega$

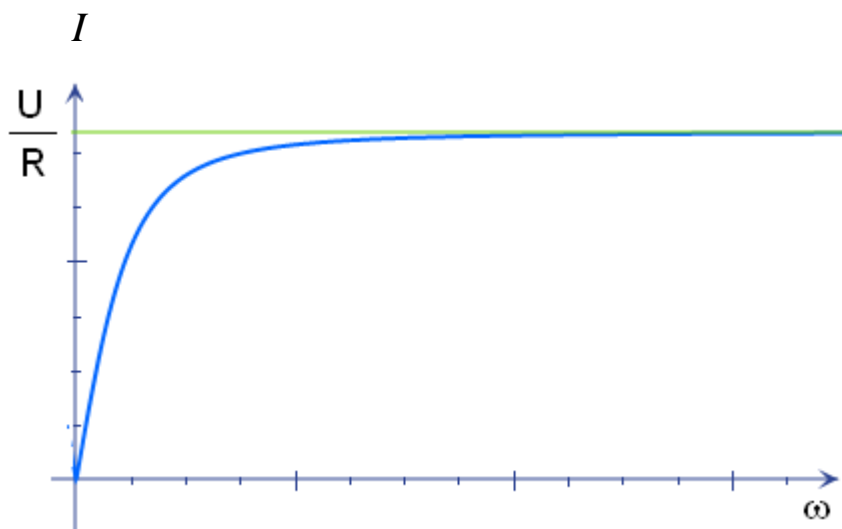


Figure 27 :  $I = f(\omega)$  dans un circuit RC série en régime sinusoïdal forcé

- $Z$  en fonction de  $\omega$

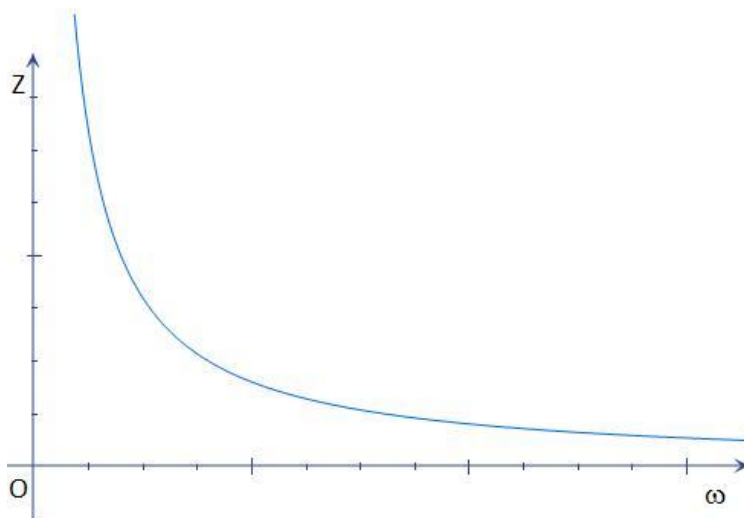


Figure 28 :  $Z = f(\omega)$  dans un circuit RC série en régime sinusoïdal forcé

## II.4 Bobine.

(L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987; R. Arnal, 1970; J.Cessac, 1986; M.Edward, 1973; H.Fraude, 1970; R.Kronig, 1962; R.Resnick, 1979; B.Yavorski & A.Detlaf, 1975)

<http://WWW.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/lycom/Electro/Cours-Electro/magnetisme.htm>

### II.4.1 Description

Une bobine est composée principalement d'un fil métallique de longueur  $l$  et de section  $s$ , enroulé pour former  $N$  spires et en général une bobine admet un noyau métallique qui a un impact sur son inductance.

Dans le cadre de l'étude d'une bobine en régime sinusoïdal forcé on s'intéresse plutôt à son inductance  $L$ .

#### Selfs induction à air



#### Selfs induction à noyau de ferrite



(présence d'une barre de matériau ferreux au centre de la self)

Figure 29 : Bobines à air et à noyau de ferrite

## II.4.2 Flux d'auto-induction et inductance.

Considérons un circuit formé par une spire :

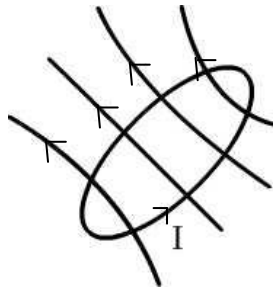


Figure 30 : Spire parcourue par un courant

Parcouru par un courant d'intensité  $I$ , le conducteur crée un champ magnétique  $B$  dans l'espace qui l'entoure. Ainsi le circuit formé par une spire baigne dans son propre champ magnétique et un flux  $\phi$  traverse la surface plane de la spire. Ce flux est un flux propre ou flux d'auto-induction.

Cherchons le flux d'autoinduction d'un solénoïde. Soit un solénoïde de longueur  $l$ , de section  $S$ , composé de  $N$  spires et parcouru par un courant d'intensité  $I$ . Si la longueur du solénoïde est grande par rapport à son diamètre, alors le champ magnétique  $\vec{B}$  en tout point à l'intérieur de ce solénoïde est le même.

Le module du champ magnétique à l'intérieur de ce solénoïde est :

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I \quad \text{ou bien} \quad B = \mu_0 n I \quad (\text{L.Allay, J.Dubos, J.Lafargue, \& R.Le Goff, 1987; H.Fraude, 1970})$$

Avec  $n$  : le nombre de spires par unité de longueur

$N$  : le nombre total de spires

$S$  : la section du solénoïde

$l$  : la longueur du solénoïde

$\mu_0$  : la perméabilité du vide



$$\text{Le flux à travers une spire est : } \phi_1 = B \cdot S = \mu_0 \frac{N}{l} I \cdot S$$

Alors le flux total qui travers le solénoïde est :

$$\phi = N \cdot \phi_1$$

$$\boxed{\phi = \frac{\mu_0 N^2 I S}{l}}$$

(H.Fraude, 1970)

Comme  $\phi = LI$  on peut déduire de cette relation l'inductance :

$$\Rightarrow \boxed{L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}}$$

Si les spires s'enroulent sur un corps ferromagnétique de perméabilité relative  $K_m = \frac{\mu}{\mu_0}$

$$\text{Alors } L = \frac{\mu_0 K_m N^2 S}{l} \Rightarrow \boxed{L = \frac{\mu N^2 S}{l}} \quad (\text{H.Fraude, 1970})$$

Remarque

Le flux dépend de la forme du circuit et de la nature du milieu dans lequel il est placé.

### Force électromotrice d'auto-induction

Dans un circuit quelconque, toute variation de l'intensité du courant entraîne une variation du flux magnétique et ceci a pour effet de produire une force électromotrice d'induction qui fait circuler dans ce circuit un courant induit ou courant complémentaire. Ce phénomène est appelé phénomène d'autoinduction ou induction propre.

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} \quad \text{or} \quad \phi = L.i$$

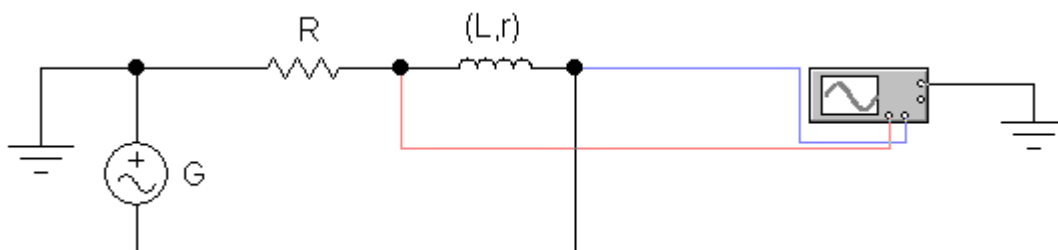
$$\Rightarrow \boxed{\varepsilon_{ind} = -L \frac{di}{dt}} \quad (\text{H.Fraude, 1970})$$

Le signe « - » traduit la loi de LENZ : l'auto-induction s'oppose toujours aux variations instantanées du courant.

### II.4.3 Circuit RL série en régime sinusoïdal forcé.

(L.Allay, J. Dubos, J.Lafargue, & R.Le Goff, 1987; R.Arnal, 1970; L.Bessonov, 1968; J.Cessac, 1986; M.Edward, 1973; H.Fraude, 1970; R.Kronig, 1962)

Considérons le montage de la figure suivante : un résistor et une bobine sont montés en série, et alimentés par un générateur de courant  $i = I_m \sin(\omega t)$



**Figure 31 : Circuit (RL) série en régime sinusoïdal forcé**

Soit  $u_G$ ,  $u_R$  et  $u_L$  les tensions instantanées respectives aux bornes du générateur, du résistor et de la bobine.

D'après la loi des mailles :  $u_G = u_R + u_L$

$$u_G = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$u_R = Ri = RI_m \sin(\omega t)$$

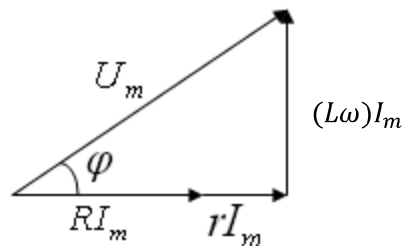
$$u_L = ri + L \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = I_m \omega \cos(\omega t) = I_m \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$\Rightarrow u_L = rI_m \sin(\omega t) + LI_m \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = RI_m \sin(\omega t) + rI_m \sin(\omega t) + LI_m \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Le diagramme de Fresnel correspondant est :



**Figure 32 : Diagramme de Fresnel pour un circuit RL série**

D'après ce diagramme on a :

$$U_m^2 = (R + r)^2 I_m^2 + (L\omega)^2 I_m^2 \Rightarrow U_m = I_m \sqrt{(R + r)^2 + (L\omega)^2}$$

On peut écrire :  $U_m = ZI_m$  avec

$$Z = \sqrt{(R + r)^2 + (L\omega)^2}$$

$Z$  est l'impédance de ce circuit RL série et  $X_L = L\omega$  est appelé « réactance inductive » qui s'exprime aussi en Ohm.

Le déphasage  $\varphi$  entre tension et courant est tel que :



$$\cos \varphi = \frac{(R+r)I_m}{U_m} \Rightarrow \boxed{\cos \varphi = \frac{(R+r)}{Z}}$$

Ou encore  $\tan \varphi = \frac{L\omega}{(R+r)}$

- Variation de Z en fonction de la fréquence N : si N tend vers 0 alors Z tend vers  $Z = R+r$  (constante), si N tend vers  $\infty$  alors Z aussi tend vers  $\infty$

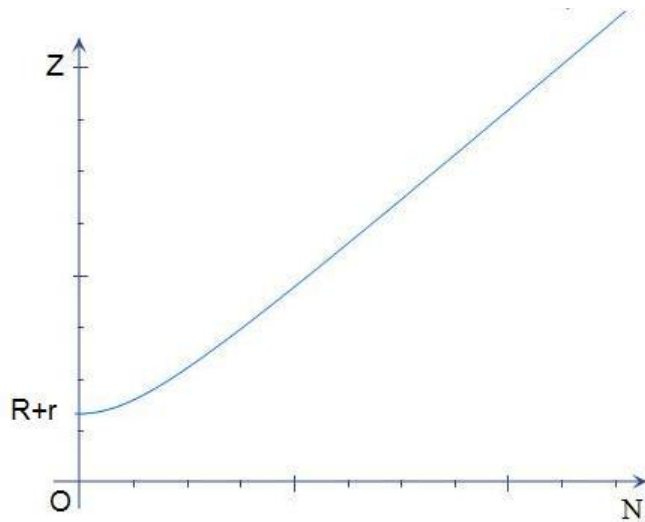


Figure 33 : Circuit RL série

- Variation de l'intensité efficace en fonction de la fréquence N :

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R+r)^2 + (l\omega)^2}}$$

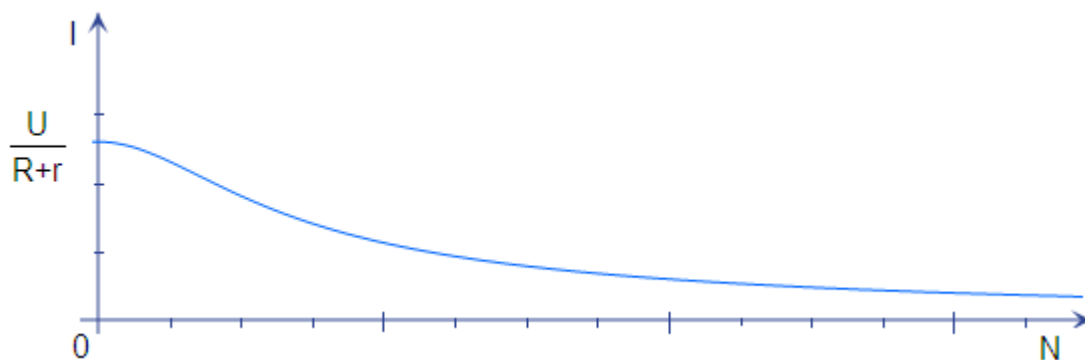


Figure 34 : Circuit RL série :  $I = f(N)$

## II.5 Fonction de filtrage

(R.Arnal, 1970; L.Bessonov, 1968; T.Nelson, 1988)

[http://WWW-istg.ujf\\_grenoble.fr](http://WWW-istg.ujf_grenoble.fr)

Stéphane-Tronic- <http://WWW.tronic.fr.st>

<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements>

<http://static.brouchier.com/livre>

<http://WWW.ac-nancy-metz.fr>

<http://WWW.elektronique.fr>

### II.5.1 Introduction

Dans le cas du traitement des signaux analogiques, la fonction filtrage permet de privilégier ou d'éliminer certaines fréquences d'un signal d'entrée au moyen d'un montage appelé filtre. Par exemple, la fréquence de 50Hz présente sur le secteur constitue très souvent un signal parasite pour le bon fonctionnement d'un système électronique ; il convient alors, par l'intermédiaire d'un filtre, de supprimer ou d'atténuer ce signal. Ces filtres se présentent sous différentes formes. Lorsqu'il n'y a pas d'amplification du signal d'entrée par un élément actif (transistor, amplificateur opérationnel), un filtre est dit « passif » dans le cas contraire, il est « actif ».



Figure 35 : Filtre

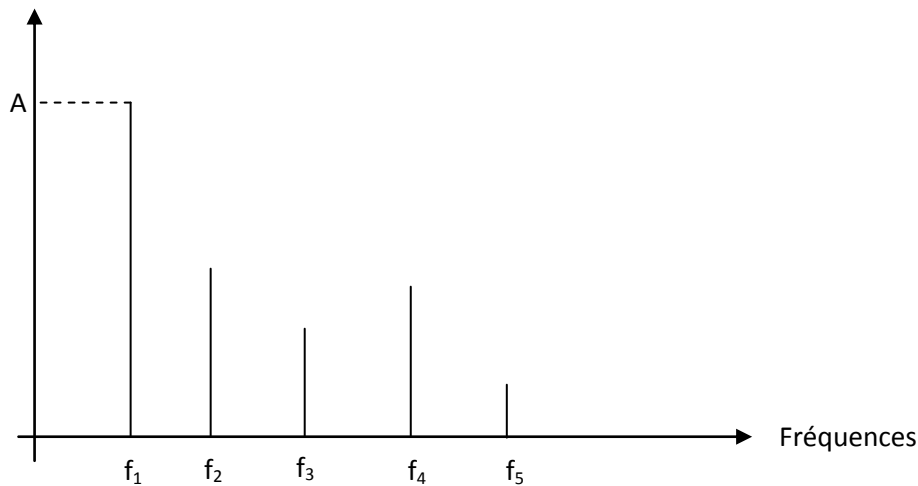
### II.5.2 Notion de spectre

Un signal périodique quelconque  $a(t)$  peut être décomposé en une somme d'une grandeur  $A$  égale à la valeur moyenne du signal d'origine et des signaux d'amplitude  $A_i$ , et de fréquences liées au signal  $a(t)$ .

On distingue ainsi :

- Le signal fondamental de fréquence identique au signal initial
- Les signaux harmoniques de fréquence supérieure au signal fondamental

On peut alors représenter le spectre de ce signal dans un repère avec les amplitudes des sinusoides sur l'axe des ordonnées et les fréquences sur l'axe des abscisses.



**Figure 36 : Spectre d'un signal**

Le signal dont le spectre est décrit ci-dessus aura alors pour expression :

$$a(t) = A_{\text{moy}} + A_1 \sin(2\pi f_1 + \varphi_1) + A_2 \sin(2\pi f_2 + \varphi_2) + A_3 \sin(2\pi f_3 + \varphi_3) + \dots + A_n \sin(2\pi f_n + \varphi_n)$$

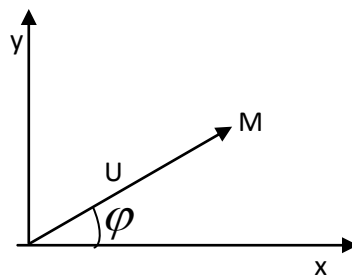
<http://WWW.tronic.fr.st>

### II.5.3 Notation complexes.

En électricité et électronique, on utilise les nombres complexes.

A toute tension sinusoïdale  $u(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$  on peut associer un nombre complexe noté  $\mathcal{U}$  de module  $U$  qui est la valeur efficace de la tension  $u(t)$ , et d'argument égal à  $\varphi$ , la phase initiale de  $u(t)$ .

Dans le plan complexe, M représente l'image du nombre complexe  $\mathcal{U}$  qui peut s'écrire  $\mathcal{U} = [U, \varphi]$



**Figure 37 : Image d'un nombre complexe**

### II.5.4 Impédances complexes ( R.Arnal, 1970 ;L.Bessonov, 1968 ;T.Nelson, 1988)

L'image d'un circuit est la grandeur qui est pour les signaux alternatifs, l'équivalent de la résistance pour les signaux continus. Elle est représentée par  $Z$  et s'exprime en ohm comme une résistance mais elle diffère de celle-ci car sa valeur dépend de la fréquence du signal alternatif. L'impédance complexe définit la valeur de l'impédance et le déphasage produit.

En notation complexe, la loi d'ohm appliquée à un dipôle passif s'écrit :

$\mathcal{U} = \mathcal{Z}I$      $\mathcal{Z}$  : représente l'impédance complexe du dipôle

$I = \mathcal{Y}\mathcal{U}$      $\mathcal{Y}$  : représente son admittance complexe  $\mathcal{Y} = \frac{1}{\mathcal{Z}}$

Dans tout ce qui va suivre, nous remplacerons  $X_L = L\omega$  par  $Z_L$  et  $X_C = \frac{1}{C\omega}$  par  $Z_C$

### **Elément résistif**

Comme on l'a déjà vu pour un élément résistif, il n'y a pas de déphasage du courant par rapport à la tension.

$$\mathcal{Z}_R = R \Rightarrow \boxed{\mathcal{Z}_R = [Z_R, 0]}$$

### **Bobine parfaite**

Une bobine ou self, de résistance négligeable produit un déphasage de  $90^\circ$  entre le courant et la tension, le courant étant en retard sur la tension :

$$\mathcal{Z}_L = jZ_L \Rightarrow \mathcal{Z}_L = jL\omega \Rightarrow \boxed{\mathcal{Z}_L = [Z_L, \frac{\pi}{2}]}$$

### **Condensateur**

Pour un circuit ne contenant qu'un condensateur le courant est en avance de  $\pi/2$  sur la tension.

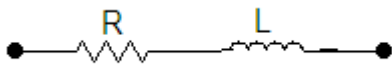
$$\mathcal{Z}_C = \frac{1}{jC\omega}, \text{ avec } Z_C = \frac{1}{C\omega} \text{ donc } \boxed{\mathcal{Z}_C = [Z_C, -\frac{\pi}{2}]}$$

## **II.5.5 Association de dipôles passifs**

De la même façon que l'on calcule une résistance équivalente on a :

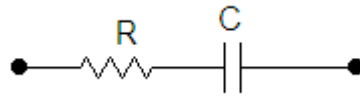
- La somme des impédances complexes lorsque les éléments du dipôle sont en série.
- La somme des admittances complexes lorsque les éléments du dipôle sont branchés en parallèle.

### Impédance complexe de quelques dipôles associés en série



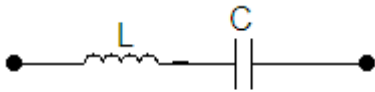
$$Z_R = R, \quad Z_L = jL\omega$$

$$\Rightarrow \boxed{Z_{AB} = R + jL\omega}$$



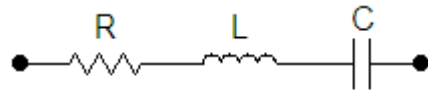
$$Z_R = R, \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega}$$

$$\boxed{Z_{AB} = R + \frac{1}{jC\omega}}$$



$$Z_L = jL\omega, \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega}$$

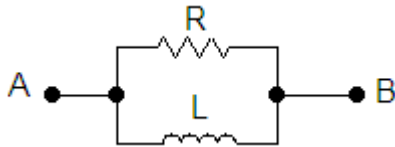
$$\boxed{Z_{AB} = jL\omega + \frac{1}{jC\omega}}$$



$$Z_R = R, \quad Z_L = jL\omega, \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega}$$

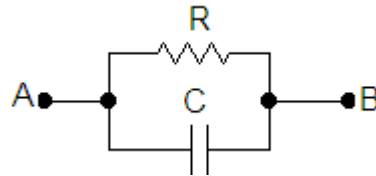
$$\boxed{Z_{AB} = R + j(L\omega - \frac{1}{C\omega})}$$

### Impédance complexe de quelques dipôles R, L, C en parallèle



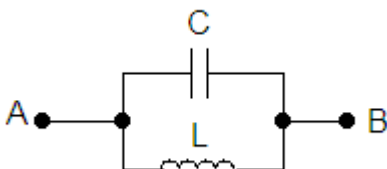
$$Z_R = R, \quad Z_L = jL\omega$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{I}{Z_{AB}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jL\omega}}$$

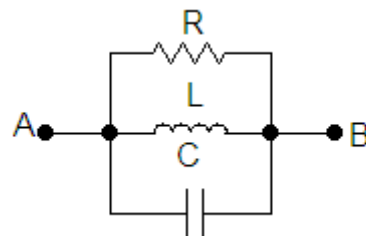


$$Z_R = R, \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega}$$

$$\boxed{\frac{I}{Z_{AB}} = \frac{1}{R} + jC\omega}$$



$$Z_L = jL\omega, \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega}$$



$$Z_R = R, \quad Z_L = jL\omega, \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{Z_{AB}} = j(C\omega - \frac{1}{L\omega})}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{Z_{AB}} = \frac{1}{R} + j(C\omega - \frac{1}{L\omega})}$$

## II.6 Etude des filtres

Pour étudier un filtre il faut d'abord définir sa fonction de transfert, puis l'évolution de cette fonction de transfert en fonction de la fréquence du signal d'entrée et enfin représenter les variations des gains et du déphasage du signal de sortie par rapport au signal d'entrée en fonction de la fréquence : il s'agit de faire le diagramme de Bode.

[http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours\\_elec/filtres.pdf](http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours_elec/filtres.pdf)

### II.6.1 Fonction de transfert

Un circuit dont la réponse en fonction de la fréquence n'est pas constante est un filtre. En régime sinusoïdal, on caractérise cette variation par une fonction de transfert complexe qui est le quotient de la tension de sortie  $\mathcal{V}_s$  et la tension d'entrée  $\mathcal{V}_e$  ( $\mathcal{V}_s$  et  $\mathcal{V}_e$  sont des nombres complexes).

$$\boxed{\mathcal{H}(j\omega) = \frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e}} \text{ on peut définir } \boxed{\mathcal{H}(j\omega) = G(\omega)e^{j\varphi(\omega)}}$$

$$G \text{ est la norme du gain en tension : } G(\omega) = \left| \frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} \right| \Rightarrow G(\omega) = \frac{V_s}{V_e}$$

$$\varphi \text{ est le déphasage } \varphi(\omega) = \text{Arg}(\mathcal{V}_s) - \text{Arg}(\mathcal{V}_e)$$

#### Remarque

Les filtres passifs dissipent toujours de l'énergie et la puissance disponible à la sortie est toujours inférieure à la puissance à l'entrée.

### II.6.2 Décibels

En acoustique physiologique, on constate que la tension est proportionnelle au logarithme de la pression acoustique. Ceci conduit à la définition d'échelle logarithmique pour la mesure des gains. Les gains en décibels sont définis par :

➤ Gain en tension :  $\boxed{G(\omega)_{dB} = 20\log[G(\omega)]}$

➤ Gain en puissance :  $\boxed{P(\omega)_{dB} = 10\log[P(\omega)]}$

### Remarque

- Les gains en tension  $G$  sont souvent très petits et l'utilisation des gains en décibels  $G_{dB}$  permet de manipuler des nombres plus grands.

- Soient deux étages en cascade de gain en tension respectifs  $G_1 = \frac{V_1}{V_0}$  et  $G_2 = \frac{V_2}{V_1}$  ; le gain total  $G = \frac{V_2}{V_0}$  est donc le produit de  $G_1 \cdot G_2$  des gains des étages. Si les gains sont exprimés en décibel, le gain total est la somme des gains :

$$G_{dB} = G_{1dB} + G_{2dB}$$

### II.6.3 Fréquence de coupure

On définit la fréquence de coupure  $\omega_c$  d'un système comme la fréquence pour laquelle le gain maximum en tension est divisé par  $\sqrt{2}$ .

$$G(\omega_c) = \frac{G_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Or  $\log(\sqrt{2}) = 0.1505 \approx \frac{3}{20}$ , on peut donc aussi définir la fréquence de coupure comme la fréquence qui correspond à une diminution de 3dB du gain maximum.

$$G(\omega_c)_{dB} = G_{\max dB} - 3dB$$

### II.6.4 Diagramme de Bode

La gamme des fréquences appliquées aux montages électriques étant très large, lors du tracé des fonctions de transferts, on utilise une échelle logarithmique pour l'axe des fréquences. Soit  $f_0$  une fréquence caractéristique d'un système (fréquence de coupure). Les diagrammes de Bode de ce système sont les courbes du gain (en dB) et de la phase de la fonction de transfert, en fonction de  $\log\left(\frac{f}{f_0}\right) = \log\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ .

La représentation de Bode utilise donc pour les abscisses une échelle logarithmique en coordonnées réduites et pour les ordonnées une échelle en décibel.

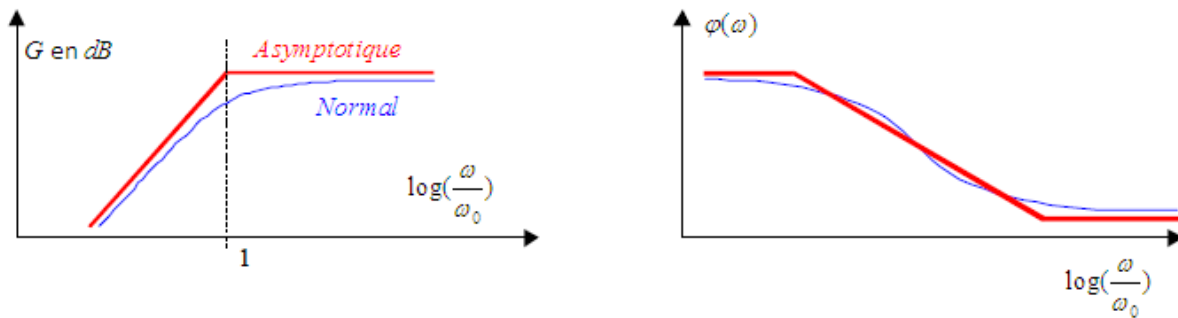


Figure 38 : Diagramme de Bode

### II.6.5 Fonction de transfert du premier ordre.

#### *Etude théorique*

Un système est dit de premier ordre si sa fonction de transfert ne contient que des constantes et la première puissance de  $\omega$ . Pour caractériser l'axe des fréquences, on utilise soit la décade soit l'octave. La décade correspond à une multiplication de la fréquence par 10 et l'octave correspond à un doublement de la fréquence.

Exemple : soit la fonction de transfert du premier ordre:

$$\mathcal{H}(j\omega) = j \frac{\omega}{\omega_c} \Rightarrow G = \frac{\omega}{\omega_c} \quad \text{et} \quad \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{si } \omega \Rightarrow 10\omega \text{ alors } G_{10\omega dB} = G_{\omega dB} + 20dB$$

Donc son diagramme de Bode est une droite dont la pente est 20dB par décade

#### *Filtre passe-bas*

$$\text{si } x = \frac{\omega}{\omega_c} ; \text{ la fonction de transfert est: } \mathcal{H}(j\omega) = \mathcal{H}(jx) = \frac{1}{1 + jx}$$

$$\text{Pour } x \ll 1 \Rightarrow G(x) = x$$

$$\text{Pour } x \gg 1 \Rightarrow G(x) = \frac{1}{x}$$

Le diagramme asymptotique se limite à deux droites de pentes 0 et 20dB par décade

La phase est nulle pour  $x=0.1$  et  $-90^\circ$  pour  $x=10$ . Elle est égale à  $-45^\circ$  pour la fréquence de coupure.



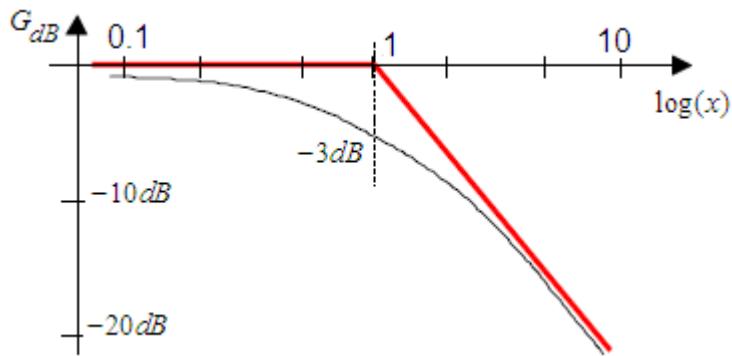


Figure 39 : Diagramme de Bode pour un filtre passe-bas

### Exemples de filtre passe-bas

#### Exemple 1

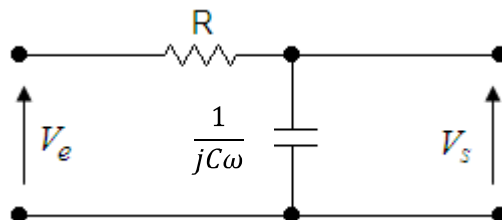


Figure 40 : Filtre passe-bas RC

Le circuit étant non chargé, la résistance et le condensateur se comportent comme un diviseur de tension idéal.

$$\frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} = \frac{1}{1 + jRC\omega} \quad \text{posons } \omega_c = \frac{1}{RC} \quad \text{et } x = \frac{\omega}{\omega_c}$$

Alors la fonction de transfert devient :

$$\boxed{\frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} = \frac{1}{1 + jx}}$$

On a vu dans l'étude du condensateur que si la fréquence tend vers 0 l'impédance tend vers l'infinie, par conséquent le gain vaut 1. En outre, pour une fréquence infinie, son impédance est nulle alors le gain vaut 0.

$$G = \left| \frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + x^2}} \quad \text{si } x=1 \text{ alors } G = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  est donc la fréquence de coupure de ce circuit qui atténue les hautes fréquences.

$$\varphi = \text{Arc tan}(x)$$

Pour  $x=1 \Rightarrow \varphi = -45^\circ$  et pour  $x=10 \Rightarrow \varphi = -84^\circ$

Pour le diagramme asymptotique, on considère que la phase varie de 0 à - 90° sur deux décades.

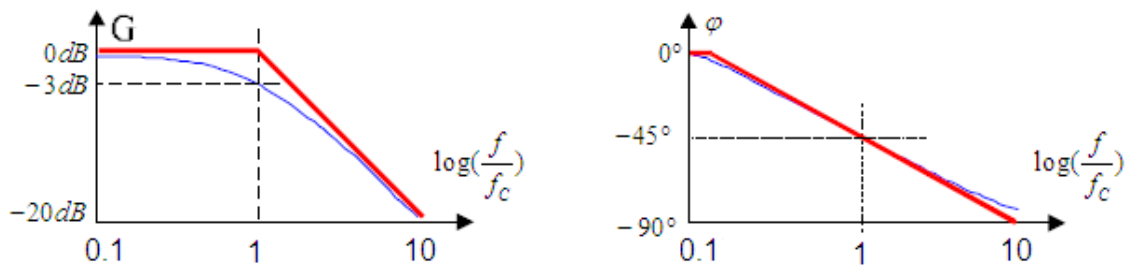


Figure 41 : Diagramme de Bode pour un filtre passe-bas

### Exemple 2

Le schéma ci-dessous constitue un autre filtre passe-bas

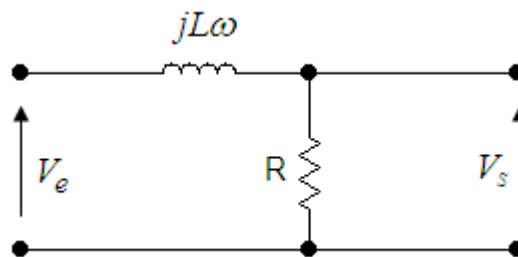


Figure 42 : Filtre passe-bas RL

On obtient la même fonction de transfert que dans le cas précédent mais la fréquence de coupure est définie par :  $\omega_c = \frac{R}{L}$

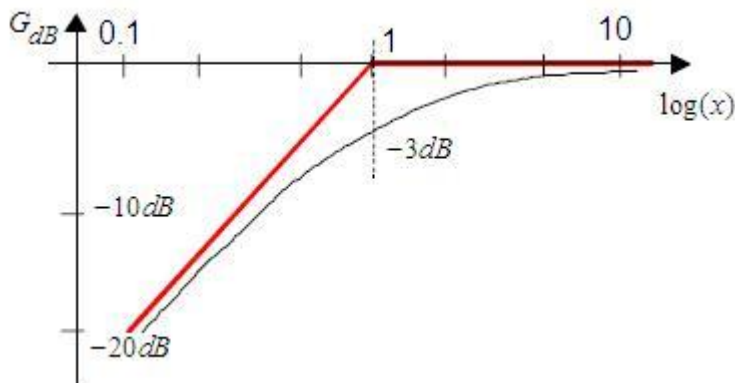
### Filtre passe haut

Posant  $x = \frac{\omega}{\omega_c}$ , la fonction de transfert s'écrit :

$$\mathcal{H}(j\omega) = \mathcal{H}(jx) = \frac{jx}{1+jx} \Rightarrow \boxed{\mathcal{H}(jx) = \frac{1}{1-\frac{j}{x}}}$$

Pour  $x$  très inférieur à 1  $\Rightarrow G(x) = x$

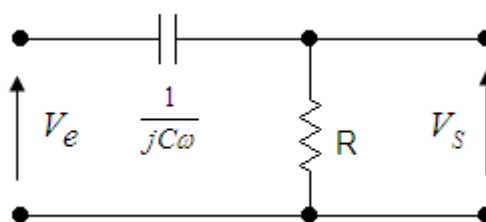
Pour  $x$  largement supérieur  $\Rightarrow G(x) = 1$



**Figure 43 : Diagramme de Bode pour un filtre passe-haut**

Le diagramme asymptotique se limite à deux droites de pentes 0 et +20dB par décade. La phase varie de  $-90^\circ$  pour  $x=0.1$  à  $0$  pour  $x=10$ . Elle est égale à  $-45^\circ$  pour la fréquence de coupure.

Exemple d'un filtre passe-haut



**Figure 44 : Filtre passe-haut**

Le circuit étant non chargé, le circuit R, C se comporte comme un diviseur de tension.

$$\frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} = \frac{jRC\omega}{1+jRC\omega} \quad \text{soit } \omega_c = \frac{1}{RC} \quad \text{et } x = \frac{\omega}{\omega_c}$$

La fonction de transfert devient :

$$\boxed{\frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} = \frac{1}{1 - \frac{j}{x}}} \Rightarrow G = \left| \frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{x^2}}}$$

Si  $x=1$  alors  $G = \frac{1}{\sqrt{2}}$  qui correspond à la fréquence de coupure  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ .

$$\varphi = \text{Arc tan}(x)$$

$$\text{Pour } x=1 \Rightarrow \varphi = -45^\circ$$

$$\text{Pour } x=0.1 \Rightarrow \varphi = -84^\circ$$

$$\text{Pour } x=10 \Rightarrow \varphi = -6^\circ$$

### II.6.6 Fonction de transfert du second ordre

Pour les systèmes de second ordre, la fonction de transfert contient des termes en  $\omega^2$ . On trouve trois fonctions fondamentales.

- La fonction passe-bas  $\mathcal{H}_b(j\omega) = A \frac{1}{1 + j \frac{x}{Q} + (jx)^2}$
- La fonction passe-haut  $\mathcal{H}_h(j\omega) = A \frac{(jx)^2}{1 + j \frac{x}{Q} + (jx)^2}$
- La fonction passe-bande  $\mathcal{H}_B(j\omega) = A \frac{j \frac{x}{Q}}{1 + j \frac{x}{Q} + (jx)^2}$

$Q$  étant le coefficient de surtension ou le facteur de qualité et  $x = \frac{\omega}{\omega_0}$   $\omega_0$  étant la pulsation à la résonance.

Un phénomène de résonance apparaît, d'autant plus marqué que  $Q$  est grand et les courbes de gain peuvent s'écarter sensiblement des formes asymptotiques au voisinage de  $\omega = \omega_0$ .

Pour les amortissements très forts,  $\mathcal{H}(j\omega)$  peut se décomposer en un produit de fonction de transfert du premier ordre. Le système se comporte comme une cascade de cellules du premier ordre ayant des fréquences de coupure différentes.

***Filtre passe-bande à bande large.***

Pour de nombreux systèmes, la fonction de transfert s'écrit sous la forme :

$$\mathcal{H}(j\omega) = A \frac{j\omega}{\omega_m + j\omega} \frac{\omega_M}{\omega_M + j\omega}$$

$$\Rightarrow \boxed{\mathcal{H}(j\omega) = A \frac{j \frac{\omega}{\omega_m}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_m}} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_M}}}$$

La fonction de transfert est le produit de trois fonctions :

- Le gain moyen A (constante)
- Un passe-haut (coupure  $\omega_m$ )
- Un passe-bas (coupure  $\omega_M$ )

La bande passante est donc :  $\omega_M - \omega_m$

Le diagramme asymptotique est construit par addition de trois droites de pentes +20dB par décade, 0 et -20dB par décade. La partie horizontale du diagramme correspond au gain moyen qui vaut  $20 \cdot \log(A)$ .

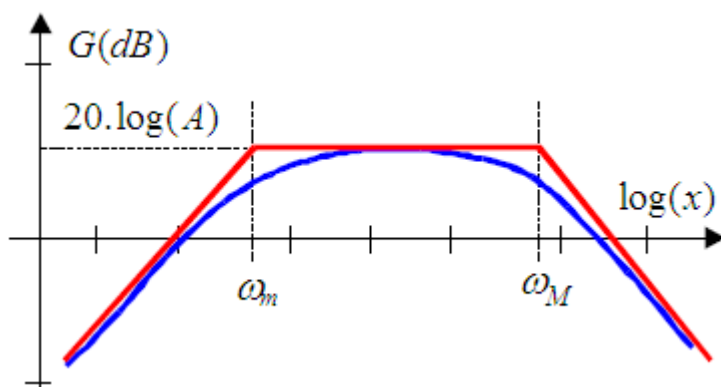


Figure 45 : diagramme de Bode pour un filtre passe-bande

### Exemple de filtre passe-bande : filtre de structure Wien

En posant  $x = RC\omega$

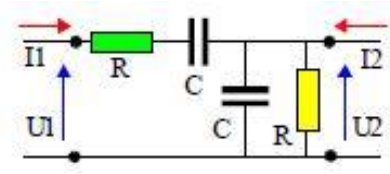


Figure 46 : filtre passe-bande de structure Wien

On obtient la fonction de transfert :  $\mathcal{H}(jx) = \frac{jx}{1 + 3jx - x^2}$

Soit  $k_1 k_2 = P = 1$  et  $k_1 + k_2 = S = 3$  tels que  $k_1$  et  $k_2$  sont les solutions de l'équation  $r^2 - Sr + P = 0$

On tire  $k_1 = \frac{1}{2}(3 + \sqrt{5})$ ,  $k_2 = \frac{1}{2}(3 - \sqrt{5})$

Par conséquent on peut décomposer la fonction de transfert de ce filtre (passe-bande du second ordre) comme le produit d'une fonction passe-bas  $\frac{1}{1 + jk_1 x}$  par une fonction passe-

haut  $\frac{jx}{1 + jk_2 x}$ . Les fréquences de coupure basse et haut sont données par :  $\frac{1}{k_1 RC}$  et  $\frac{1}{k_2 RC}$

# DEUXIEME PARTIE

## DEUXIEME PARTIE

Comme il a été mentionné supra, cette partie constitue le prolongement didactique des repères théoriques développés précédemment. Afin de concrétiser les objectifs généraux et spécifiques du présent travail, elle consiste à simuler la réponse des dipôles (RL) et (RC) série sous régime sinusoïdal forcé.

Ce didacticiel a aussi été conçu de façon à ce que la démarche expérimentale apparaisse, afin d'atteindre l'un des objectifs de la matière physique-chimie indiqué dans le programme officiel, à savoir « pratiquer une démarche expérimentale pour faire aboutir une recherche ».

Il a été élaboré à l'aide du langage Action Script 2 de Macromedia Flash 8. Nous avons choisi ce langage particulièrement pour la facilité qu'elle procure pour concevoir une interface (« langage orienté objet ») malgré sa complexité pour traiter les applications mathématiques comparé aux autres langages.

En outre, avec l'extension « .exe » il s'exécute avec tous les ordinateurs sous Windows et avec l'extension « .swf » de Macromedia Flash 8, le fichier est de l'ordre de 100kilooctets ce qui facilite son téléchargement sur un site internet.

### I. Itinéraire d'apprentissage

Le diagramme de la figure ci-après montre l'itinéraire d'apprentissage que nous proposons à l'apprenant.



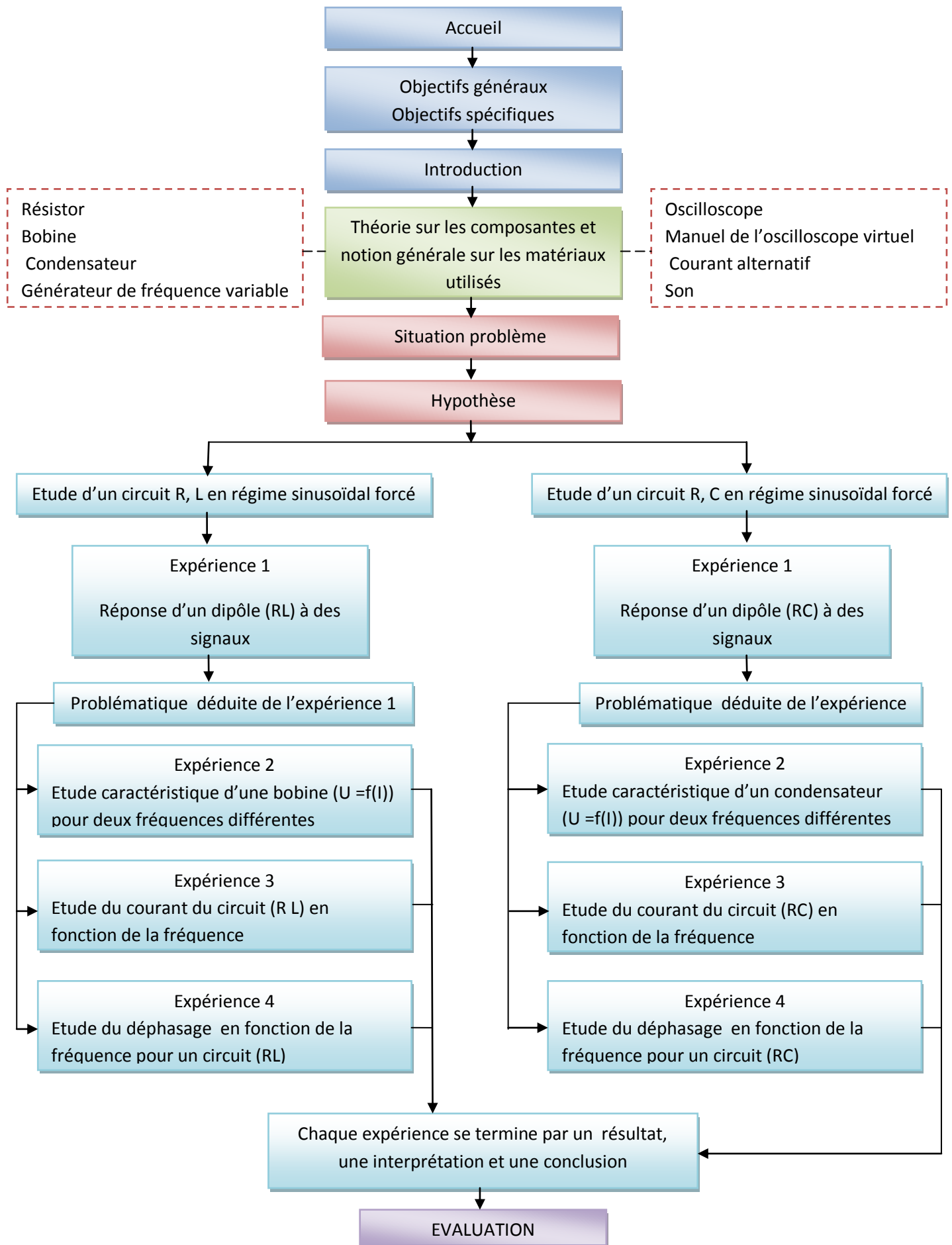


Figure 47 : itinéraire d'apprentissage

Cet itinéraire comporte essentiellement trois phases : une phase de présentation du module, une phase de préparation au module et le module proprement dit à savoir l'étude des circuits (RL) et (RC) en régime sinusoïdale forcé.

### I.1 Phase de présentation du module

Cette phase décrit les objectifs généraux et spécifiques à atteindre et introduit l'objet d'étude.

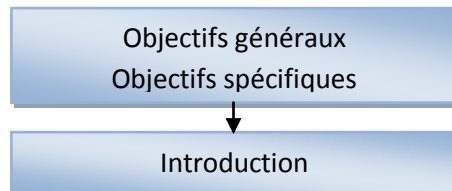


Figure 48 : Phase de présentation du module

Pour les objectifs généraux, il s'agit de comprendre le fonctionnement des circuits (RL) et (RC) série raccordés sur une source de tension alternative, d'adopter une démarche scientifique, de connaître l'utilisation des circuits (RL) et (RC) dans la vie quotidienne.

Ces objectifs généraux sont démultipliés en objectifs spécifiques tels que :

- l'interprétation du phénomène d'atténuation de fréquence que l'on obtient en utilisant ces circuits (RL) et (RC)
- la détermination des impédances de ces circuits et des tensions  $U_L$  et  $U_C$  aux bornes de la bobine et du condensateur
- l'explication /interprétation de l'influence de la fréquence de la source de tension sur l'intensité du courant, sur le déphasage entre le courant et les tensions  $U_L$  et  $U_C$
- l'interprétation de l'influence du déphasage sur la puissance.

L'objet d'étude est introduit en se référant au son émis par les haut-parleurs d'une chaîne de musique. Deux haut-parleurs identiques et alimentés par la même source peuvent laisser passer deux sons différents (l'un grave par exemple et l'autre aigu) grâce à des filtres passe-bas et passe-haut.

## I.2 Phase de préparation au module

Il s'agit ici, pour l'apprenant, d'acquérir les connaissances fondamentales pour aborder le module. Ces connaissances constituent les prérequis.

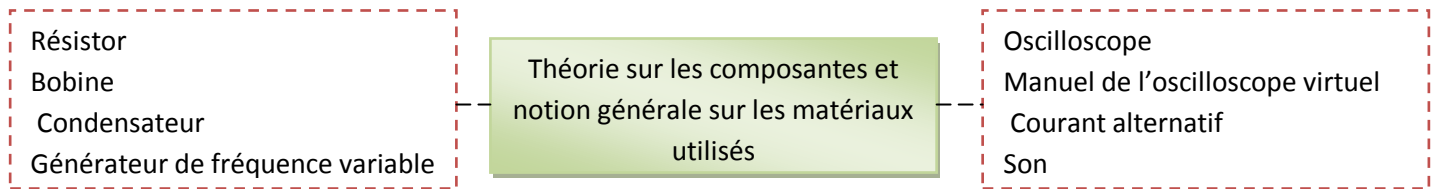


Figure 49 : Phase de préparation au module

Cette phase donne un aperçu général sur les éléments que l'on utilise couramment en électricité/électronique (résistor, bobine, condensateur). Elle présente les appareils de physique qui sont nécessaires pour notre étude à savoir l'oscilloscope et le générateur de fréquence variable. Il convient de souligner ici qu'il s'agit d'un oscilloscope virtuel que nous avons conçu nous même avec le langage Action Script 2.

Les relations essentielles qui régissent le comportement des circuits (RL) et (RC) série raccordés sur une source de courant alternatif sont établies dans cette partie (impédances, tensions aux bornes du résistor, du condensateur et de la bobine, déphasage entre tension et courant, diagramme de Fresnel)

La notion de courant alternatif est rappelée ainsi que le son et ses caractéristiques physiques (définition, production du son, fréquence, intensité sonore ou volume)

Cette préparation au module s'appuie sur des animations pour concrétiser certaines de ces notions afin de faciliter l'acquisition de ces connaissances préalables.

## I.3 Etude des circuits (RL) et (RC) série en régime sinusoïdal forcé

Cette phase comprend plusieurs étapes

### ❖ Etape 1

Il s'agit ici d'une situation problème qui débouche sur une formulation d'hypothèses

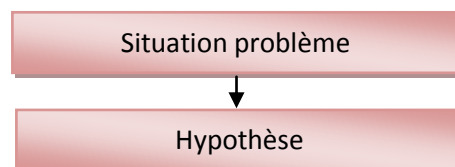
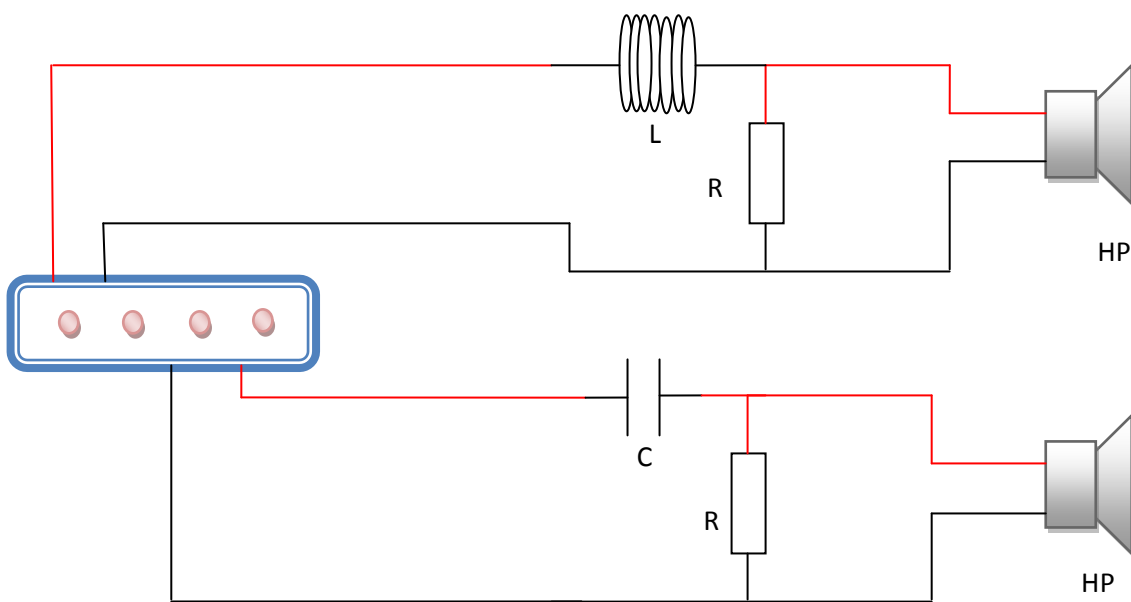


Figure 50 : 1<sup>ère</sup> étape de l'étude des circuits (RL) et (RC)

On demande à l'apprenant de citer quelques appareils que l'on rencontre dans la vie quotidienne et qui utilisent des résistors, des condensateurs et des bobines. On cite en particulier le baffle. La situation problème consiste à simuler la réponse des haut-parleurs qui reçoivent une source sonore.

Dans un premier temps les haut-parleurs sont directement connectés à l'amplificateur. On envoie la musique et l'apprenant écoute

On place après des circuits RL/RC série entre l'amplificateur et les haut-parleurs. L'apprenant écoute de nouveau



**Figure 51 : Montage des circuits RL et RC relatif à la situation problème**

L'apprenant est ensuite invité à décrire ce qu'il a entendu et à émettre des hypothèses sur ce qui a pu modifier le son à la sortie des haut-parleurs.

Il consulte enfin les hypothèses données par le didacticiel à savoir :

- le circuit (RL) série atténue le son aigu mais n'affecte pas le son grave
- le circuit (RC) série atténue le son grave mais n'affecte pas le son aigu

Ces hypothèses font l'objet de vérification expérimentale dans les étapes suivantes.

## ❖ Etape 2

Cette étape concerne l'étude du circuit RL série en régime sinusoïdal forcé. Elle comporte quatre expériences.

L'expérience 1 porte sur la réponse d'un dipôle (RL) série quand il reçoit des signaux grave et aigu.

Les résultats de cette expérience conduisent à une autre problématique :

- Quelles sont les caractéristiques d'une bobine ?
- Ces caractéristiques sont-elles liées à la fréquence du signal d'entrée ?
- Quelle relation existe-t-il entre la fréquence et l'intensité du courant ?

Les trois autres expériences traitent ces questions.

L'expérience 2 étudie les caractéristiques d'une bobine :  $U = f(I)$ . Elle consiste à suivre l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes de la bobine en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit pour différentes valeurs de la fréquence.

L'expérience 3 est axée sur l'étude de l'amplitude du courant qui traverse le circuit en fonction de la fréquence de la source de tension.

L'expérience 4 analyse le déphasage entre courant et tension en fonction de la fréquence.

### ❖ Etape 3

Elle est consacrée à l'étude du circuit RC en régime sinusoïdal forcé. Sa structure est identique à celle de la deuxième étape comme le montre l'itinéraire d'apprentissage de la figure 47.

### ❖ Etape 4

Cette dernière étape est une évaluation formative. Elle propose des exercices qui ont pour objectifs de renforcer les acquis des élèves, de détecter leurs lacunes et de les corriger.

## II. Module d'apprentissage

Les contenus du didacticiel sont présentés dans cette partie

### II.1 Fenêtres relatives à la phase de présentation du module

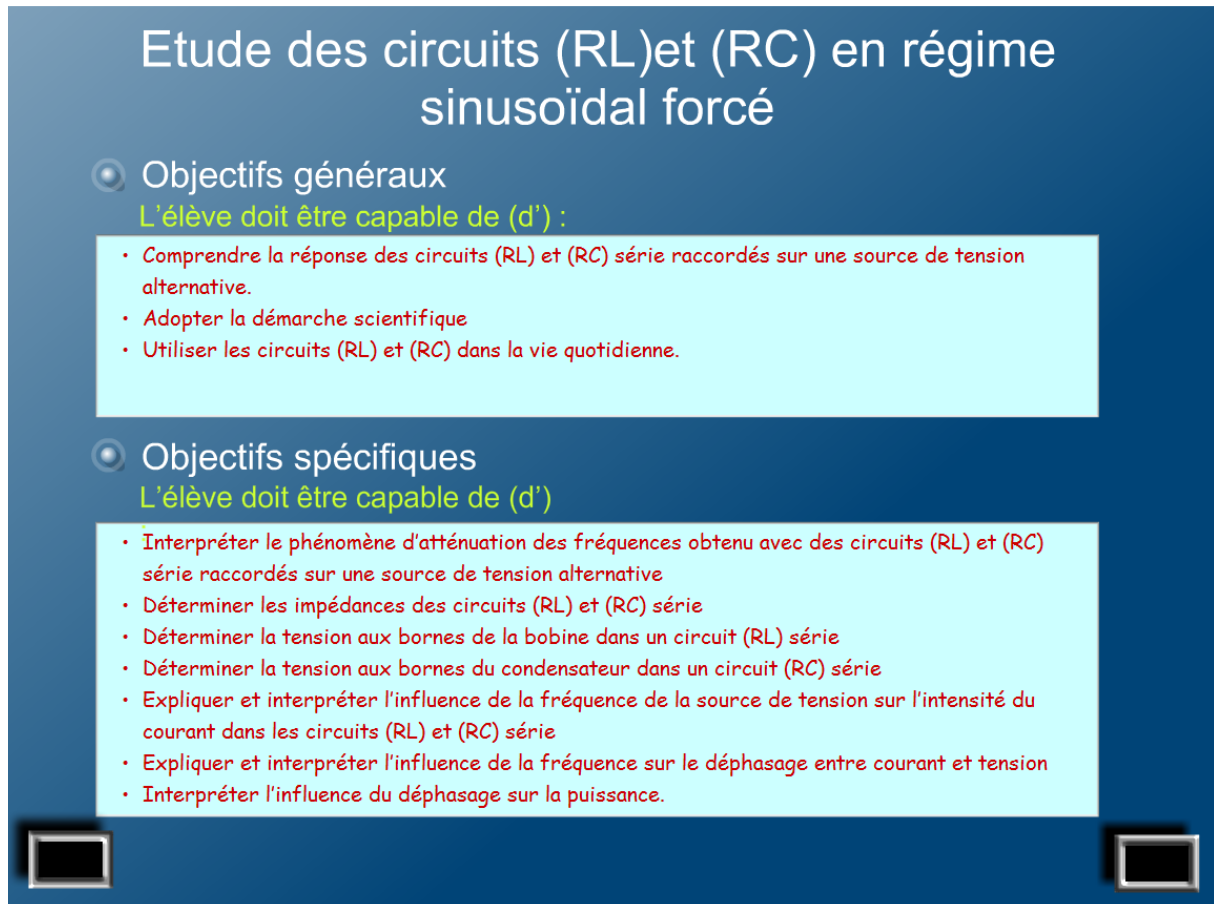
#### II.1.1 Interface d'accueil

Une interface d'accueil s'ouvre lors du démarrage du logiciel et montre le titre du module.



### II.1.2 Objectifs

La « fenêtre des objectifs » décrit les objectifs généraux et spécifiques à atteindre à l'issue du module.



## Etude des circuits (RL) et (RC) en régime sinusoïdal forcé

- Objectifs généraux  
L'élève doit être capable de (d') :
  - Comprendre la réponse des circuits (RL) et (RC) série raccordés sur une source de tension alternative.
  - Adopter la démarche scientifique
  - Utiliser les circuits (RL) et (RC) dans la vie quotidienne.
- Objectifs spécifiques  
L'élève doit être capable de (d')
  - Interpréter le phénomène d'atténuation des fréquences obtenu avec des circuits (RL) et (RC) série raccordés sur une source de tension alternative
  - Déterminer les impédances des circuits (RL) et (RC) série
  - Déterminer la tension aux bornes de la bobine dans un circuit (RL) série
  - Déterminer la tension aux bornes du condensateur dans un circuit (RC) série
  - Expliquer et interpréter l'influence de la fréquence de la source de tension sur l'intensité du courant dans les circuits (RL) et (RC) série
  - Expliquer et interpréter l'influence de la fréquence sur le déphasage entre courant et tension
  - Interpréter l'influence du déphasage sur la puissance.

### II.1.3 « Introduction »

Cette page introduit l'objet d'étude par une question sur la composition d'un filtre passif et ses caractéristiques.

## ● Introduction

Depuis la découverte de l'électricité, des appareils qui fonctionnent avec cette source d'énergie ne cessent de faire leur apparition sur le marché. Actuellement, on peut dire que l'homme ne peut plus se passer de ces appareils dans sa vie quotidienne. On peut citer comme exemple l'utilisation de la radio, de la télévision, des réfrigérateurs, de l'ordinateur, des amplificateurs ...

Tous ces appareils contiennent au moins l'un des trois éléments suivants : condensateur, résistor et bobine. Ces éléments sont couramment utilisés en électronique et dans le cours qui va suivre, nous allons étudier leur utilisation pour le traitement du son en tant que filtre passif dans les haut-parleurs.

En effet, il arrive qu'on trouve deux haut-parleurs identiques et alimentés par la même source mais qui jouent deux rôles différents grâce à des filtres. L'un peut émettre le son grave et atténuer le son aigu ou médium par exemple tandis que l'autre laisse passer le son aigu et bloque le son grave.

De quoi sont composés ces filtres ? Quels sont leurs caractéristiques ? C'est l'objet de notre étude.



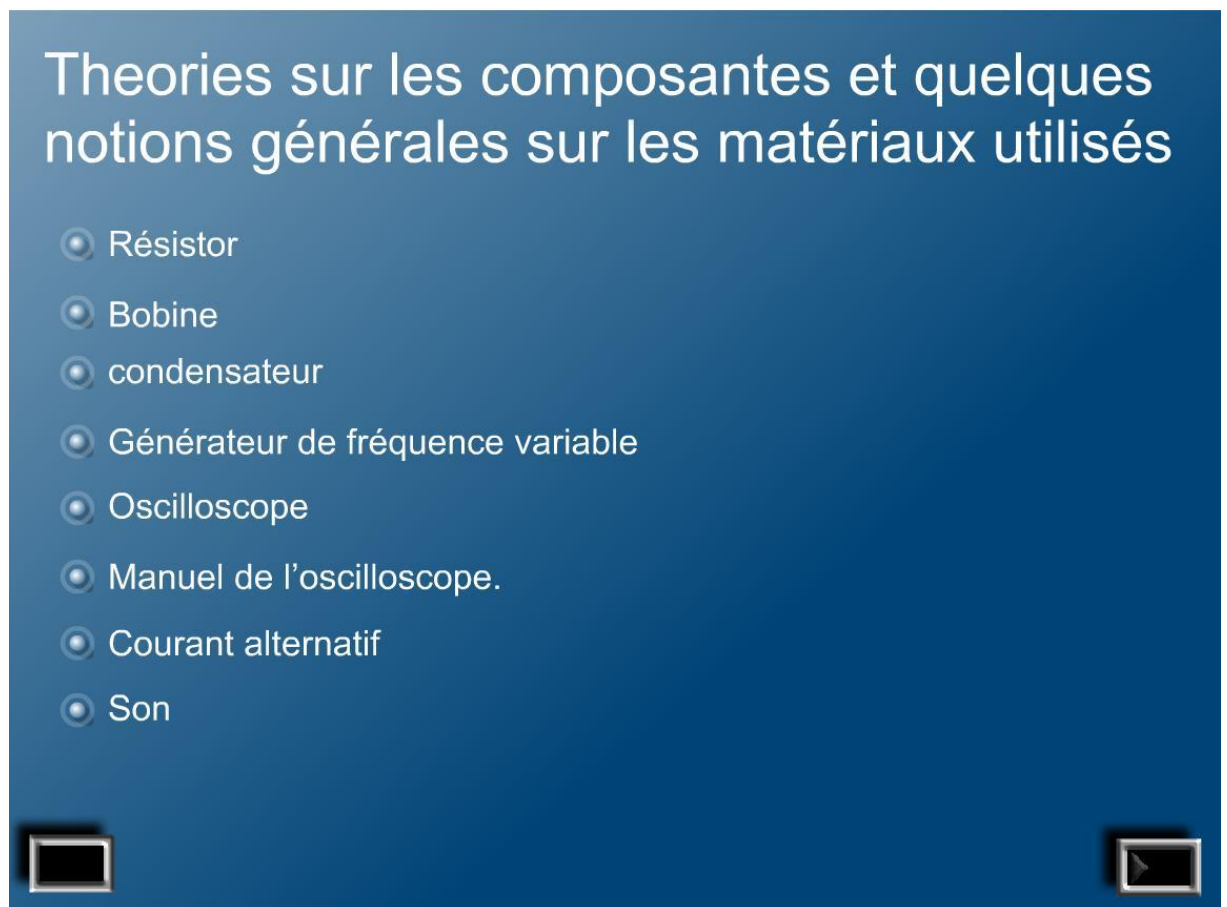


## II.2 Fenêtres relatives à la phase de préparation au module

### II.2.1 Les thèmes abordés

Les connaissances fondamentales que l'apprenant doit maîtriser pour aborder le module sont développés dans les pages qui suivent.

La première fenêtre affiche les différents thèmes qui sont traités. Ils sont accessibles en cliquant sur les boutons correspondants.



## II.2.2 Résistor

Les résistors et la loi d'ohm sont présentés ici ainsi que le code de couleur

# Résistor

### Description

Un résistor est un petit cylindre formé à partir de différents matériaux comme le carbone, un fil de cuivre émaillé enroulé de façon à ce que l'inductance s'annule. Il est caractérisé par sa résistance, connue à partir du code couleur ou en mesurant directement avec un ohm-mètre, et par sa puissance.

Actuellement on trouve des résistors plus grands en forme de prisme droit, qui supportent des intensités de l'ordre de 1A à 5A voir même plus.

### Les résistances de faible puissance

Résistances à couche de carbone

Résistances à couche métallique



La suite de cette page est reproduite ci-dessous :

### Code des couleurs

Couleur	1 <sup>er</sup> chiffre significatif	2 <sup>e</sup> chiffre significatif	3 <sup>e</sup> chiffre significatif	Multiplicateur	TOLERANCE
ARGENT				$\times 0.01\Omega$	$\pm 10\%$
OR				$\times 0.1\Omega$	$\pm 5\%$
		0	0	$\times 1\Omega$	$\pm 20\%$
	1	1	1	$\times 10\Omega$	$\pm 1\%$
	2	2	2	$\times 100\Omega$	$\pm 2\%$
	3	3	3	$\times 1k\Omega$	
	4	4	4	$\times 10k\Omega$	
	5	5	5	$\times 100k\Omega$	
	6	6	6	$\times 1M\Omega$	
	7	7	7		
	8	8	8		
	9	9	9		

Les résistors de puissance convient bien pour la réalisation d'un réseau d'atténuation, en particulier pour réduire la sensibilité des tweeters vis-à-vis des haut-parleurs de médium et de grave.

#### **La loi d'ohm pour un conducteur ohmique.**

La différence de potentiel (en volt) aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de sa résistance (en ohm) par l'intensité (en Ampère) du courant qui le traverse.

$$U = RI$$

#### **Association des résistors**

$R_1, R_2, R_3, \dots R_n$ : résistances

$R_e$  la résistance équivalente

✓ Association en série

La résistance des résistors en montés en série s'ajoute

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

✓ Association en parallèle

L'inverse de la résistance équivalent de l'ensemble est égale à la somme des inverses des résistance montées en parallèle.

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

### **II.2.3 Bobine**

Cette partie traite les points suivants :

- ✓ la description d'une bobine
- ✓ l'étude théorique du circuit RL en régime sinusoïdal forcé
- ✓ la loi d'additivité de la tension dans une maille
- ✓ le diagramme de Fresnel
- ✓ l'impédance du circuit RL série

# Bobine

## Description

Une bobine est composée principalement d'un fil métallique de longueur  $l$  et de section  $s$ , enroulé pour former  $N$  spires. En général une bobine admet un noyau métallique qui a un impact sur son inductance.

Dans le cadre de l'étude d'une bobine en régime sinusoïdal forcé on s'intéresse plutôt à son inductance  $L$ .



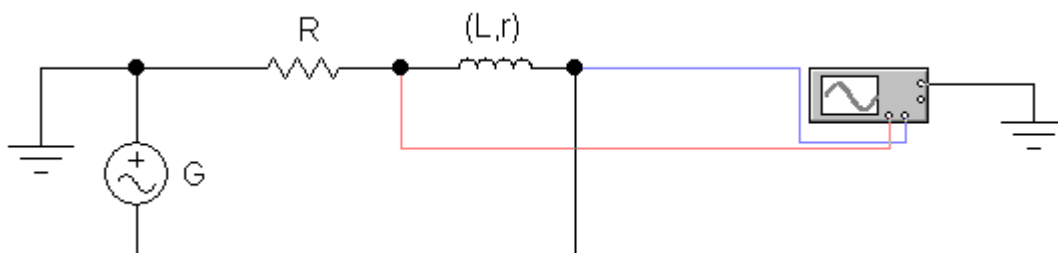
La suite de cette page est présentée ci-après :

Une bobine est symbolisée par la figure suivante :



Bobine en régime sinusoïdal forcé : circuit (RL) série

Considérons le montage de la figure suivante :



Soient  $u_G, u_R, u_L$  les tensions instantanées respectives aux bornes du générateur, du résistor et de la bobine. Le courant instantané qui parcourt le circuit est :

$$i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

**D'après la loi des mailles :**

$$u_G = u_R + u_L$$

$$u_G = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad ; u_R = RI_m \sin(\omega t) \quad ; u_L = ri + L \frac{di}{dt}$$

$\varphi$  est déphasage entre tension et courant

$$\frac{di}{dt} = I_m \omega \cos(\omega t) = I_m \omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$u_L = rI_m \sin(\omega t) + L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) ; r \text{ étant la résistance de la bobine.}$$

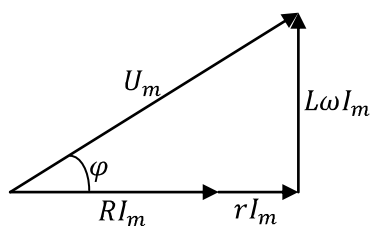
D'où :

$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = (R + r)I_m \sin(\omega t) + L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\vec{u}_G \left| \begin{matrix} U_m \\ \varphi \end{matrix} \right. = \vec{u}_R \left| \begin{matrix} (R + r)I_m \\ 0 \end{matrix} \right. + \vec{u}_L \left| \begin{matrix} L\omega I_m \\ \frac{\pi}{2} \end{matrix} \right.$$

$u_R$  et  $i$  sont en phase ;  $u_L$  est en avance de phase  $\frac{\pi}{2}$  par rapport au courant

**Diagramme de Fresnel**



D'après ce diagramme on a :

$$U_m^2 = (R + r)^2 I_m^2 + (L\omega)^2 I_m^2 \Rightarrow U_m = I_m \sqrt{(R + r)^2 + (L\omega)^2} = Z I_m$$

$Z$  est l'impédance de ce circuit telle que :

$$Z = \sqrt{(R + r)^2 + (L\omega)^2}$$

Le déphasage est tel que :

$$\cos \varphi = \frac{(R + r)I_m}{U_m}$$

$$\cos \varphi = \frac{(R + r)}{Z}$$

$$\text{ou } \tan \varphi = \frac{L\omega}{(R+r)}$$

### Remarque

Si  $R+r$  tend vers 0 alors  $Z$  tend vers  $Z_L$  tel que  $Z_L = L\omega$ .  $Z_L$  étant l'impédance de la bobine pure d'inductance  $L$ .

Alors  $\cos \varphi$  tend vers 0 et  $\tan \varphi$  tend vers  $+\infty$  donc  $\varphi$  tend vers  $\frac{\pi}{2}$ .

## II.2.4 Condensateur

# Condensateur

### Définition

On appelle condensateur un ensemble formé de deux conducteurs (appelés armatures) séparés l'un de l'autre par une couche isolante (appelée aussi diélectrique) qui peut être une couche d'air, une feuille de mica, de verre selon l'utilité et la capacité requise.

### Condensateurs chimiques (radial et axiaux)



La capacité, la tolérance ainsi que la température maximale de fonctionnement sont lues directement sur le condensateur

Relation entre tension et charge d'un condensateur.

La charge et la tension aux bornes d'un condensateur sont liées par la relation

$$Q = C \cdot U$$

La constante C caractérise le condensateur, et est appelée capacité du condensateur. Elle s'exprime en Farads (F). On emploie souvent les sous multiples qui sont les picofarads (pF), les nanofarads (nF), et le microfarad (μF). U (en volt) est la tension entre les bornes du condensateur et Q (en coulomb) sa charge.

Condensateur en régime sinusoïdal forcé : circuit RC série

Soit le dipôle AB formé par un condensateur et un résistor montés en série. Le dipôle est alimenté par un générateur de courant alternatif d'intensité

$$i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

Soient  $u_G$ ,  $u_R$  et  $u_C$  les tensions instantanées aux bornes du générateur, du résistor et du condensateur

D'après la loi des mailles :

$$u_G = u_R + u_C$$

$$u_C = \frac{q}{C}$$

Le courant qui parcourt le circuit est

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = i dt \Rightarrow q = \int i dt \quad \text{avec} \quad i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

$$q = \int I_m \sin(\omega t) dt \Rightarrow q = -\frac{I_m}{\omega} \cos(\omega t)$$

$$q = \frac{I_m}{\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\text{D'où } u_C = \frac{I_m}{C\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$u_R = RI_m \sin(\omega t) \quad ; \quad u_G = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$\varphi$  est le déphasage entre la tension et le courant

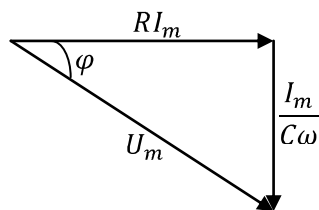
$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = RI_m \sin(\omega t) + \frac{I_m}{C\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\vec{u}_G \left| \begin{matrix} U_m \\ \varphi \end{matrix} \right. = \vec{u}_R \left| \begin{matrix} RI_m \\ 0 \end{matrix} \right. + \vec{u}_C \left| \begin{matrix} \frac{I_m}{C\omega} \\ -\frac{\pi}{2} \end{matrix} \right.$$

$u_R$  et  $i$  sont en phase;  $u_C$  est en retard de phase de

$-\frac{\pi}{2}$  par rapport au courant.

Diagramme de Fresnel :



$$U_m^2 = R^2 I_m^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2 I_m^2 \text{ d'où } U_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2} = Z I_m$$

$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$  ;  $Z$  est l'impédance de ce circuit et  $Z_C = \frac{1}{C\omega}$  est la « réactance capacitive »

Le déphasage entre tension et courant est tel que :

$$\cos \varphi = \frac{RI_m}{U_m} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \varphi = \frac{\frac{I_m}{C\omega}}{RI_m} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{1}{RC\omega}$$



## II.2.5 Générateur de fréquence variable

Cette fenêtre décrit un générateur de fréquence variable et son utilisation.

### Générateur de fréquence variable

Un générateur de fréquence variable peut générer trois types de signaux : signal carré, signal en dent de scie, signal sinusoïdal.

Il peut générer ces types de signaux avec différentes fréquences. En outre, on peut aussi changer les amplitudes de ces signaux, c'est-à-dire les amplitudes des tensions délivrées par ce type de générateur.

On utilise cet appareil pour les expériences au laboratoire

#### Description

Il est constitué principalement de mécanismes (boutons) pour changer la fréquence, pour changer l'amplitude de la tension délivrée, pour choisir la forme du signal. Il peut aussi avoir un afficheur numérique.



## II.2.6 Oscilloscope

### Oscilloscope

#### Définition

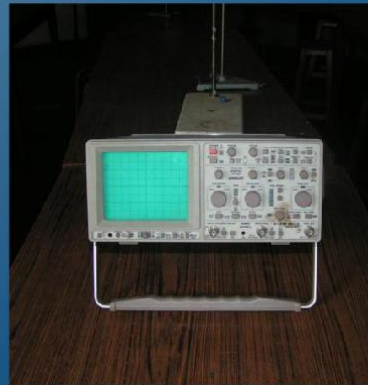
Un oscilloscope électronique est un dispositif capable de faire correspondre, à toute vibration électrique, un mouvement vibratoire de même fréquence, de même forme et d'amplitude proportionnelle, affectant une très petite tache lumineuse (spot) qui apparaît sur un écran fluorescent.

L'appareil permet en outre de composer le mouvement vertical du spot avec un mouvement de balayage, horizontal et uniforme, de la gauche vers la droite de l'écran : le spot dessine alors, sur l'écran, une courbe périodique qui donne fidèlement la forme de la vibration électrique étudiée.

Très précieux en électricité, l'oscilloscope électronique ne l'est pas moins en acoustique, car il permet d'étudier les mouvements vibratoires.

#### Description

Un oscilloscope est constitué principalement d'une base de temps, de deux diviseurs de tension pour chaque



Le contenu de cette page est détaillé ci-après

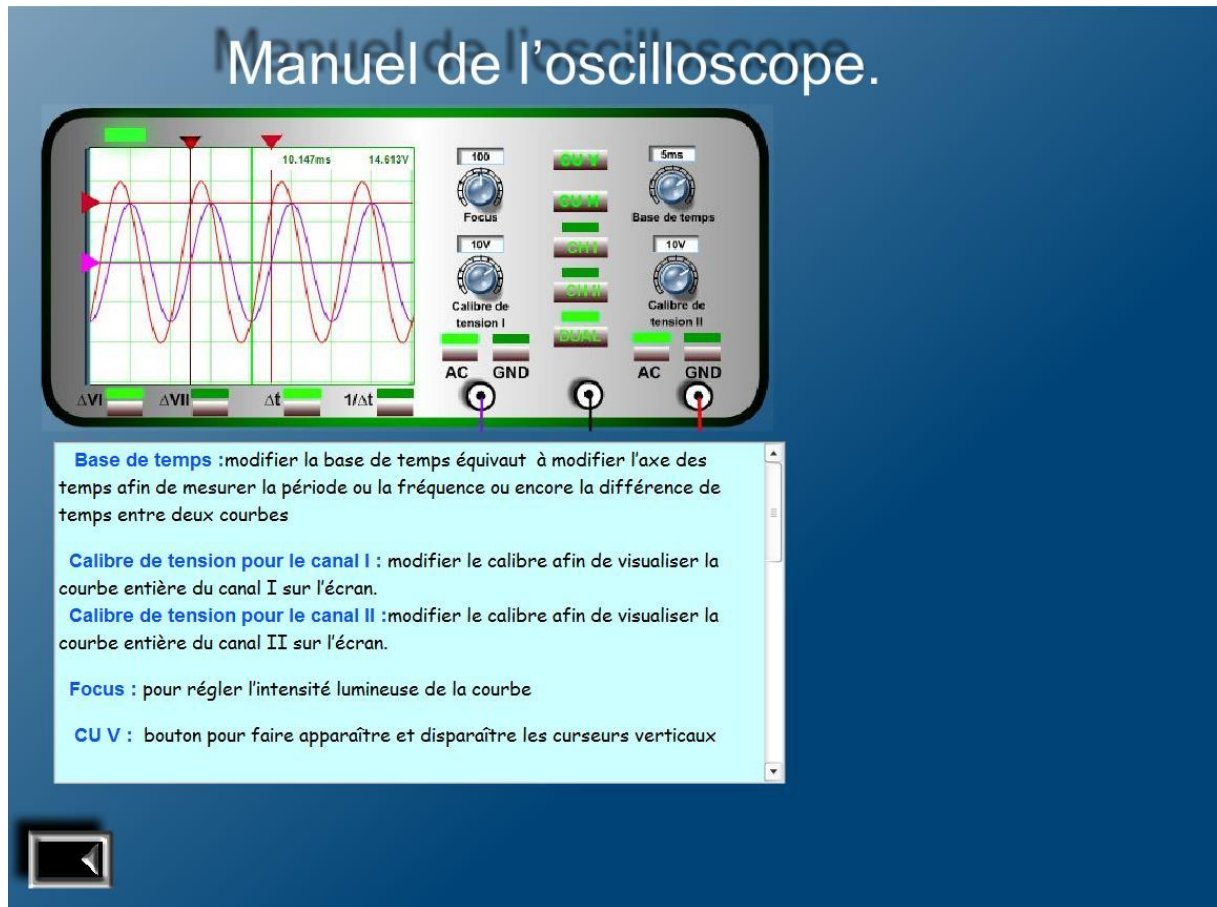
#### Description

Un oscilloscope est constitué principalement d'une base de temps, de deux diviseurs de tension pour chaque canal, et quelques boutons indispensables comme les boutons pour le choix de canal, les boutons de choix pour que l'appareil soit compatible avec le courant d'entrée (alternatif ou continu), des boutons pour faire déplacer la courbe horizontalement que l'on appelle souvent Xpose et deux boutons pour déplacer chaque courbe verticalement appelés souvent Ypose.

#### Utilisation en électricité

On utilise l'oscilloscope pour visualiser un signal (signal carré, signal en dent de scie, signal sinusoïdal ou de forme quelconque), la fréquence d'un signal s'il est périodique, l'amplitude d'un signal, le déphasage entre deux signaux.

## II.2.7 Manuel de l'oscilloscope



**CU H :** bouton pour faire apparaître et disparaître les curseurs horizontaux

**CH I :** bouton pour n'afficher que la courbe du canal I

**CH II :** bouton pour n'afficher que la courbe du canal II

**DUAL :** bouton pour afficher simultanément les deux courbes des canaux I et II.

**GND :** bouton pour mettre l'entrée à la masse

**AC :** bouton pour que l'oscilloscope capte des signaux alternatifs.

**ΔVI :** pour afficher sur l'écran de l'oscilloscope la différence de tension entre les deux curseurs horizontaux pour le canal I.

**ΔVII :** pour afficher sur l'écran de l'oscilloscope la différence de tension entre les deux curseurs horizontaux pour le canal II.

**Δt :** pour afficher sur l'écran de l'oscilloscope la différence de temps entre les deux curseurs verticaux.

**1/Δt :** pour afficher sur l'écran de l'oscilloscope la valeur de la fréquence mesurée entre les deux curseurs verticaux.

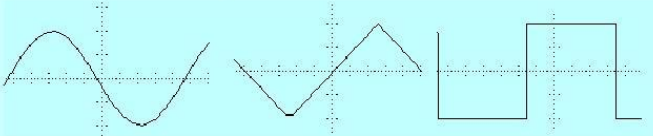
## II.2.8 Courant alternatif

Cette section présente des généralités sur le courant alternatif

# Courant alternatif

### Définition

On appelle courant alternatif un courant périodique qui change de sens deux fois par période et transporte alternativement, dans un sens et dans l'autre, des quantités d'électricité égales.



### Fréquence

La fréquence du courant en (Hertz) est égale au nombre de périodes par seconde.

$$N = \frac{1}{T}$$

N en Hertz  
T en seconde

### Alternance

Une alternance est l'intervalle de temps séparant deux changements de sens consécutifs du courant ; une période comprend donc deux alternances.

Suite de la page

### Courant alternatif sinusoïdal

Un courant alternatif sinusoïdal est un courant de valeur et de sens continuellement variables, selon une variation bien déterminée et qui se rapproche fort de la fonction sinusoïdale

$$i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

$I_m$  est la valeur absolue de l'intensité maximale appelée aussi amplitude du courant

$\omega$  la pulsation en  $\text{rad.s}^{-1}$  est reliée à la période par la relation suivante:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi N$$

### Déphasage

La tension et le courant peuvent être, soit en phase, soit en avance de phase ou bien en retard de phase l'un par rapport à l'autre.

Soient deux grandeurs sinusoïdales de même pulsation tels que :

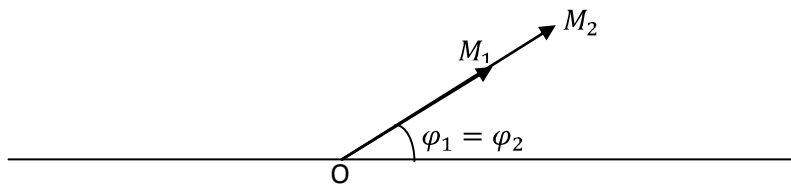
$$x_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$x_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$$

✓ *Fonctions en phase*

$x_1$  et  $x_2$  sont en phase si et seulement si :

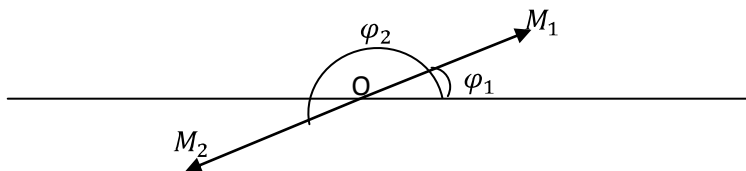
$$\Delta\varphi = 0 \text{ ou } 2k\pi$$



✓ *Fonctions en opposition de phase*

$x_1$  et  $x_2$  sont en opposition de phase si et seulement si :

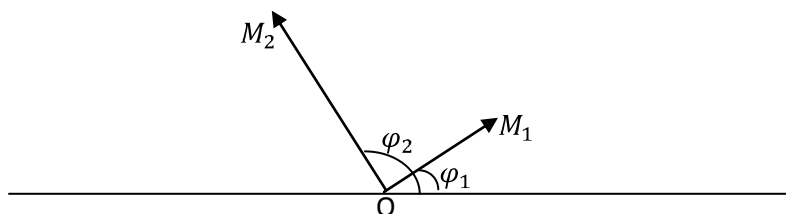
$$\Delta\varphi = \pi \text{ ou } (2k + 1)\pi$$



✓ *Fonctions en quadrature de phase*

$x_1$  et  $x_2$  sont en quadrature de phase si et seulement si :

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2} \text{ ou } \pm (\frac{\pi}{2} + 2k\pi)$$





## II.2.9 Son

Quelques caractères physiques du son sont donnés ici

# Son

### Définition

C'est une sensation auditive due à une vibration acoustique.

Chez l'homme, la sensibilité au son, ou audition, correspond aux vibrations qui atteignent l'oreille interne et dont les fréquences sont comprises entre 15Hz e 20 000Hz.

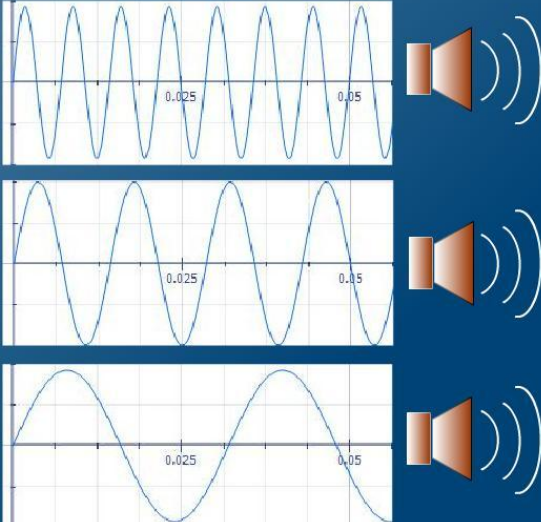
### Quelques caractères physiques

#### Comment produire un son ?

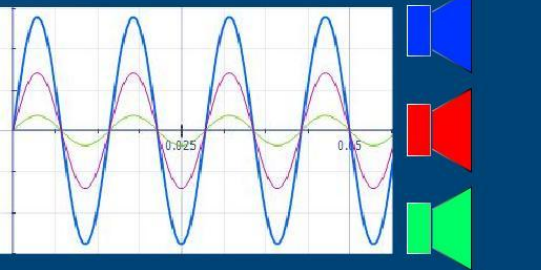
On peut produire un son par plusieurs manières à savoir les instruments à vent, les instruments à cordes et les instruments électroniques. Les instruments électroniques produisent un signal électrique qui se transforme en une onde acoustique grâce à un haut-parleur.

#### Fréquence

animation 1



animation 2



Suite de la page

### Fréquence

Les instruments à corde et à vent émettent un ou plusieurs sons de différentes fréquences.

Dans les instruments électroniques, on peut régler la fréquence du signal sur la fréquence voulue et l'haut-parleur émet une onde acoustique dont la fréquence est égale à celle du signal. Animation 1

### Intensité sonore

L'intensité sonore (volume) dépend de l'amplitude de l'onde acoustique émise. Or l'amplitude de l'onde créée par un haut-parleur dépend de l'amplitude du signal électrique qui attaque ce haut-parleur. Animation 2

La présentation de ces notions s'appuie sur des animations qui occupent la partie droite de la fenêtre.

Ces animations portent sur :

- ✓ la relation entre le signal électrique et l'onde acoustique (utilisation d'un haut-parleur ici)
- ✓ la relation entre la fréquence du signal électrique et la fréquence de l'onde sonore
- ✓ la relation entre l'amplitude du signal électrique et l'intensité de l'onde sonore émise par l'haut-parleur.

### II.3 Fenêtres relatives à l'étude des circuits RL et RC

Les contenus de ces fenêtres sont reproduits dans ce qui va suivre

#### II.3.1 Situation problème et hypothèse

→ **Question 1**

Citez quelques appareils où vous pouvez trouver des condensateurs, des bobines, des résistors.



Lorsque l'apprenant écrit dans la zone de texte, le bouton « continuer » apparaît. Quant il appuie sur ce bouton, la réponse à la question posée s'affiche sur une autre zone de texte.

Citez quelques appareils où vous pouvez trouver des condensateurs, des bobines, des résistors.

Radio

continuer

- Radio
- Télévision
- Amplificateur
- Ordinateur
- Téléphone
- Onduleur
- Baffle
- Four électrique
- Lecteur CD, DVD, ...

→ **Question 2**

Pourquoi doit-on utiliser des condensateurs, des bobines et des résistors dans un baffle ?

On

continuer



La réponse à cette question introduit l'objet d'étude du didacticiel.

Pourquoi doit-on utiliser des condensateurs, des bobines et des résistors dans un baffle ?

On

continuer

C'est pour répondre à cette question que nous allons simuler les expériences suivantes.

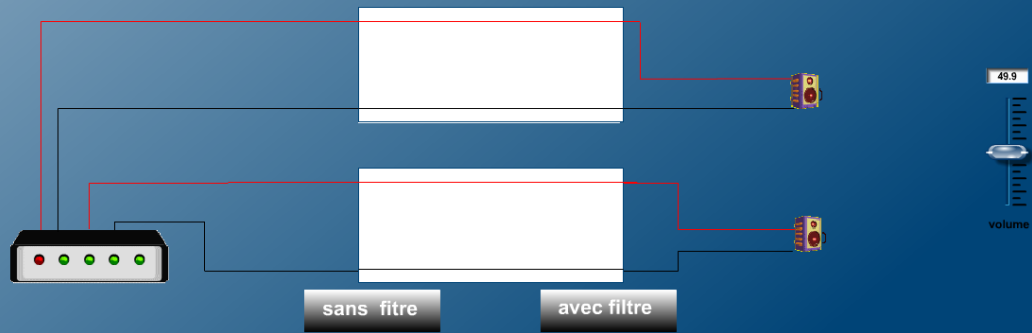


→ **1<sup>ère</sup> simulation :**

Simulation du phénomène lorsqu'on applique un circuit RL entre un amplificateur et les haut-parleurs.

Cette simulation consiste à émettre une musique normale dans les haut-parleurs de l'ordinateur lorsque le circuit RL est débranché et lorsqu'il est branché. L'apprenant répond ensuite à la question posée en écrivant ses commentaires dans la zone de texte.

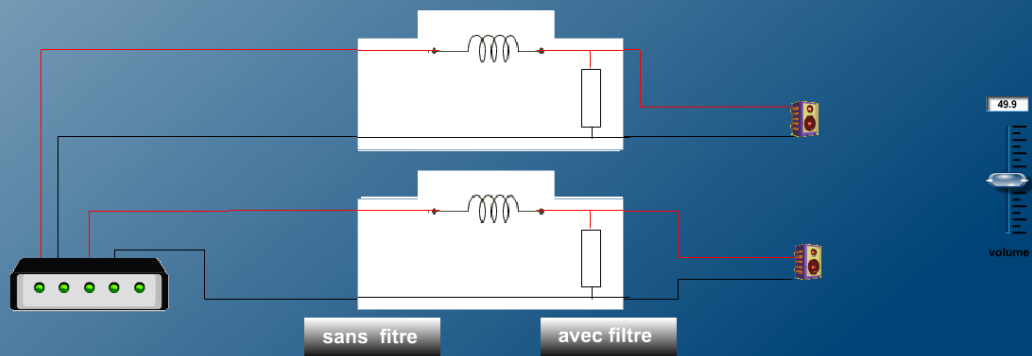
Analysons le phénomène suivant :



Que remarquez-vous ?



Analysons le phénomène suivant :



Que remarquez-vous ?

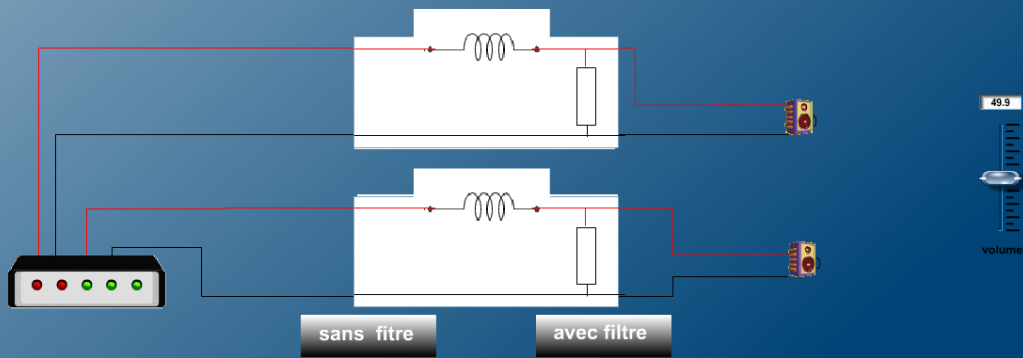
\_on remarque|

continuer



Il peut consulter la réponse donnée par le logiciel en cliquant sur « continuer »

Analysons le phénomène suivant :



Que remarquez-vous ?  
\_on remarque

On remarque que sans le circuit (RL) le son passe normalement tandis qu'avec le circuit (RL), le son aigu est atténué.

continuer

Il est ensuite invité à émettre une hypothèse qui explique le phénomène

## Hypothèses

Le circuit

continuer

Il compare son hypothèse avec celle formulée par le didacticiel à savoir : le circuit RL atténue le son aigu mais n'affecte pas le son grave

Cette hypothèse fera l'objet de vérification expérimentale.

**Hypothèses**

.Le circuit

continuer

Le volume d'un son issu d'un haut-parleur est proportionnel à l'amplitude de tension à ses bornes ou à l'amplitude du courant qui le traverse.

Ainsi nous allons émettre l'hypothèse suivante :

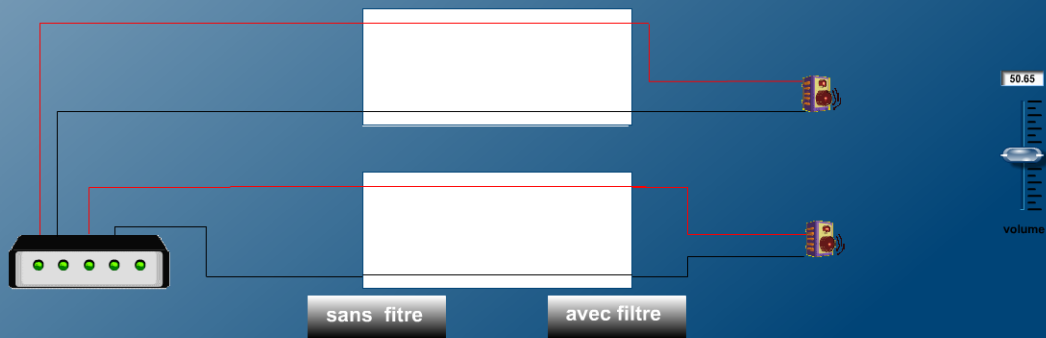
Le circuit (RL) atténue le son aigu mais n'affecte pas le son grave.

→ **2<sup>ème</sup> simulation :**

Simulation du phénomène lorsqu'on applique un circuit RC entre un amplificateur et ses haut-parleurs

On retrouve ici les démarches adoptées dans la 1<sup>ère</sup> simulation. Le circuit RL est remplacé par le circuit RC.

Analysons le phénomène suivant :

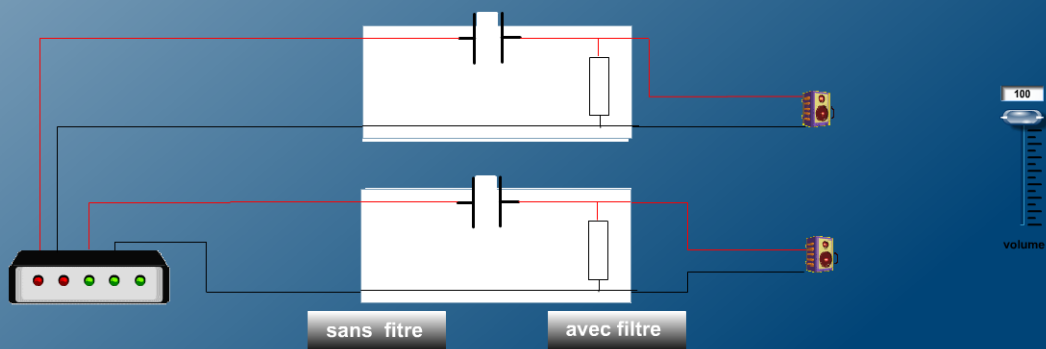


Que remarquez-vous ?

—



Analysons le phénomène suivant :



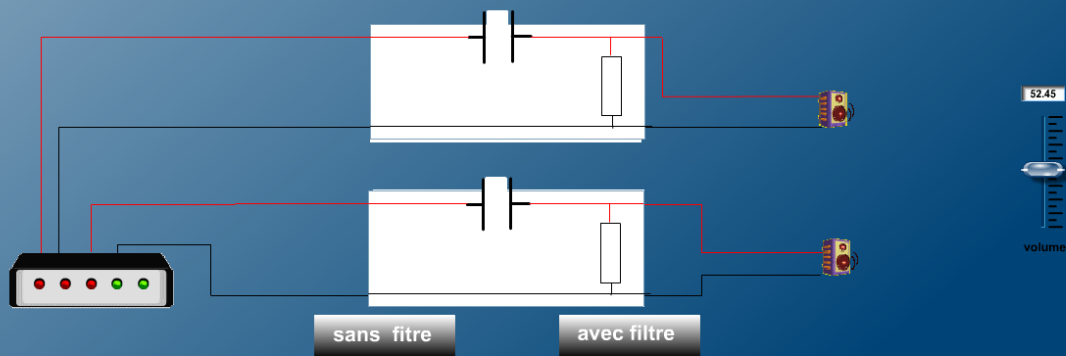
Que remarquez-vous ?

\_on remarque|

continuer



Analysons le phénomène suivant :



Que remarquez-vous ?  
\_on remarque

On remarque que sans le circuit (RC) le son passe normalement tandis qu'avec le circuit (RC), le son grave est atténué.

continuer

## Hypothèses

Le

continuer

## Hypothèses

.Le

continuer

Le volume d'un son issu d'un haut-parleur est proportionnel à l'amplitude de tension à ses bornes ou à l'amplitude du courant qui le traverse.

Ainsi nous allons émettre l'hypothèse suivante :

Le circuit (RC) atténue le son grave mais n'affecte pas le son aigu.

### II.3.2 Etude d'un circuit RL en régime sinusoïdal forcé

Cette étude comporte quatre expériences. Dans toutes ces expériences, l'apprenant consulte les protocoles, exécute les consignes, formule ses interprétations et conclusions et les compare avec celles proposées par le didacticiel.

L'apprenant verra le circuit RL raccordé sur le générateur de fréquence variable au lieu d'être alimenté par l'amplificateur.

La tension aux bornes du résistor est branchée sur le canal I de l'oscilloscope au lieu d'être branchée sur le haut-parleur.

La tension aux bornes de la bobine est branchée sur le canal II

Les valeurs de la résistance et de l'inductance sont introduites en cliquant sur le résistor et sur la bobine.

Les amplitudes de tension aux bornes du résistor et de la bobine sont mesurées à l'aide des curseurs horizontaux

La fréquence peut être relevée avec les curseurs verticaux ou bien lue directement sur l'écran du générateur de fréquence variable

## Expérience 1

Etude de l'amplitude de la tension aux bornes du résistor en fonction de la fréquence.

### Principe

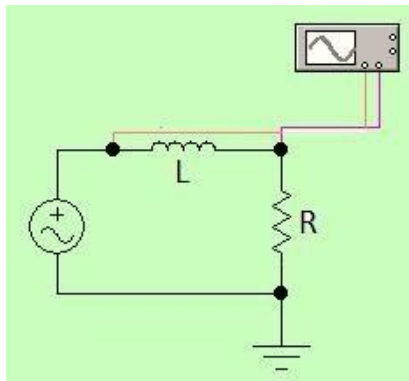
L'expérience consiste à envoyer un signal à travers le circuit (RL). On fait varier la fréquence du signal tout en gardant constante l'amplitude de la tension délivrée par le générateur et on relève l'amplitude de la tension de sortie aux bornes du résistor.

### Matériels utilisés

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20\ \Omega$
- ✓ Une bobine d'inductance  $L = 30\text{mH}$

### Protocole

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ On garde l'amplitude de la tension d'entrée constante.
- ✓ L'oscilloscope nous permet de mesurer la fréquence  $N$  des signaux d'entrée et de relever l'amplitude de la tension  $U_{Rm}$  aux bornes du résistor (amplitude de la tension de sortie).
- ✓ On relèvera  $U_{Rm}$  pour les fréquences suivantes : 10Hz, 20Hz, 30Hz, 50Hz, 70Hz, 90Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 10000Hz, 20000Hz,
- ✓ Les résultats seront consignés dans le tableau ci-dessous.
- ✓ On représente ensuite dans un repère les points de coordonnées  $(N, U_{Rm})$

### Votre conclusion



### Expérience 1

**Principe**  
L'expérience consiste à envoyer un signal à travers le circuit (RL). On fait varier la fréquence du signal tout en gardant constante l'amplitude de la tension délivrée par le générateur et on relève l'amplitude de la tension de sortie aux bornes du résistor.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope

données	fréquence	tension
d1		
d2		
d3		
d4		
d5		
d6		
d7		
d8		
d9		
d10		
d11		
d12		
d13		
d14		

Votre conclusion

### Expérience 1

**Principe**  
L'expérience consiste à envoyer un signal à travers le circuit (RL). On fait varier la fréquence du signal tout en gardant constante l'amplitude de la tension délivrée par le générateur et on relève l'amplitude de la tension de sortie aux bornes du résistor.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope

données	fréquence	tension
d1	10	20.91
d2		
d3		
d4		
d5		
d6		
d7		
d8		
d9		
d10		
d11		
d12		
d13		
d14		

Votre conclusion

### Résultat

On constate qu'à partir d'une certaine valeur de la fréquence l'amplitude de la tension aux bornes du résistor diminue rapidement.

### Interprétation

L'amplitude du courant qui traverse le circuit est  $I_m = \frac{U_{Rm}}{R}$

La résistance R est constante donc  $I_m$  diminue quand  $U_{Rm}$  diminue. L'amplitude du courant qui traverse le circuit diminue quand la fréquence augmente.

### Conclusion

Le circuit R, L atténue le son aigu et laisse passer le son grave.

*Les résultats de cette première expérience conduisent à d'autres questions.*

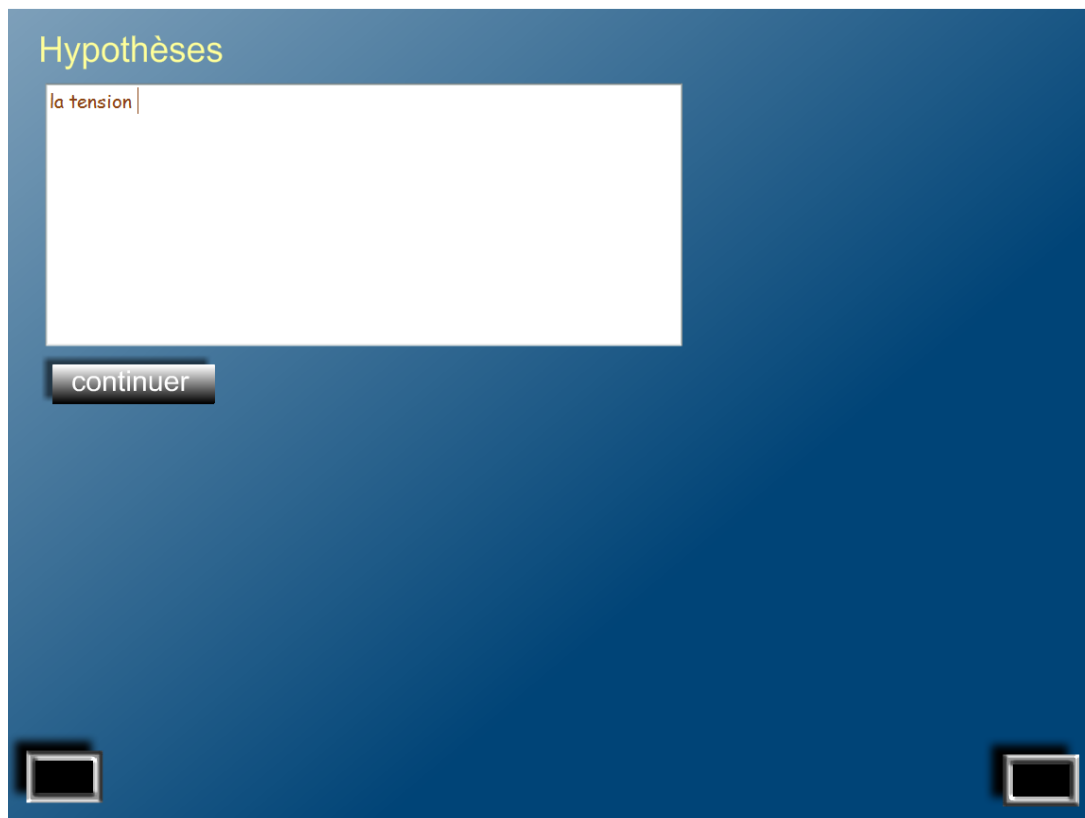
Quelles sont les caractéristiques d'une bobine ?

Sont-elles liées à la fréquence du signal d'entrée ?

Quelle relation existe-t-il entre la fréquence et l'intensité du courant ?



L'apprenant émet ses hypothèses et consulte celle proposée par le logiciel.



***L'hypothèse du logiciel est étudiée dans les trois expériences qui vont suivre.***

Le contenu de la page « Expérience 2 »

## **Expérience 2**

### **Principe**

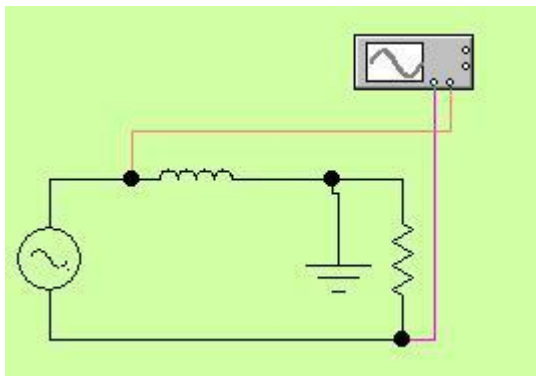
L'expérience consiste à suivre l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes de la bobine en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit pour différentes valeurs de la fréquence.

### **Matériels utilisés**

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20 \, \Omega$
- ✓ Une bobine d'inductance  $L = 30 \text{mH}$

### **Protocole**

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ On fixe une valeur de la fréquence. On fait varier l'amplitude de la tension délivrée par le générateur. On mesure l'amplitude de tension  $U_{Lm}$  aux bornes de la bobine et l'amplitude  $I_m$  du courant qui traverse le circuit pour chaque valeur de l'amplitude de tension du générateur.
- ✓ On refait la même expérience pour une autre valeur de la fréquence.
- ✓ Le canal I de l'oscilloscope mesure l'amplitude de tension aux bornes du résistor et on en déduit l'amplitude de courant qui traverse le circuit.
- ✓ Le canal II mesure l'amplitude de tension aux bornes de la bobine.
- ✓ On prendra successivement une fréquence de 20Hz et 1kHz. Les résultats seront consignés dans les tableaux I et II
- ✓ On représente en suite dans un même repère orthonormé les points de coordonnées  $(I_m, U_{Lm})$ .

## Votre conclusion

### Expérience 2

**Principe**  
L'expérience consiste à suivre l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes de la bobine en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit pour différentes valeurs de la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope
- Un résistor de résistance  $R = 20 \Omega$
- Une bobine d'inductance  $L = 30 \text{ mH}$

données I	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1	1.28	6.733	0.33665
d2	2.49	13.46	0.673
d3			
d4			
d5			
d6			

données II	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1			
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			

**Votre conclusion**

—

graphe

**Résultats**  
Les points du tableau I sont sensiblement alignés  
De même pour les points du tableau II.

**Interprétation**  
Pour chaque tableau, on trace sur un papier millimétré  $U_{Lm} = f(I_m)$ .  
On obtient deux droites de la forme  $U = Z_1 I$  et  $U = Z_2 I$ .  
On en déduit les valeurs de  $Z_1$  et  $Z_2$  et on compare ces valeurs à  $L\omega_1$  et  $L\omega_2$  pour  $\omega_1 = 2\pi \cdot 20 \text{ rad.s}^{-1}$  et  $\omega_2 = 2\pi \cdot 1000 \text{ rad.s}^{-1}$ .

### Expérience 2

**Principe**  
L'expérience consiste à suivre l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes de la bobine en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit pour différentes valeurs de la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope
- Un résistor de résistance  $R = 20 \Omega$
- Une bobine d'inductance  $L = 30 \text{ mH}$

données I	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1	1.28	6.733	0.33665
d2	2.49	13.46	0.673
d3			
d4			
d5			
d6			

données II	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1			
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			

**Votre conclusion**

L

graphe

continuer

### Résultats

Les points du tableau I sont sensiblement alignés

De même pour les points du tableau II.

### Interprétation

Pour chaque tableau, on trace sur un papier millimétré  $U_{Lm} = f(I_m)$ .

On obtient deux droites de la forme  $U = Z_1 I$  et  $U = Z_2 I$ .

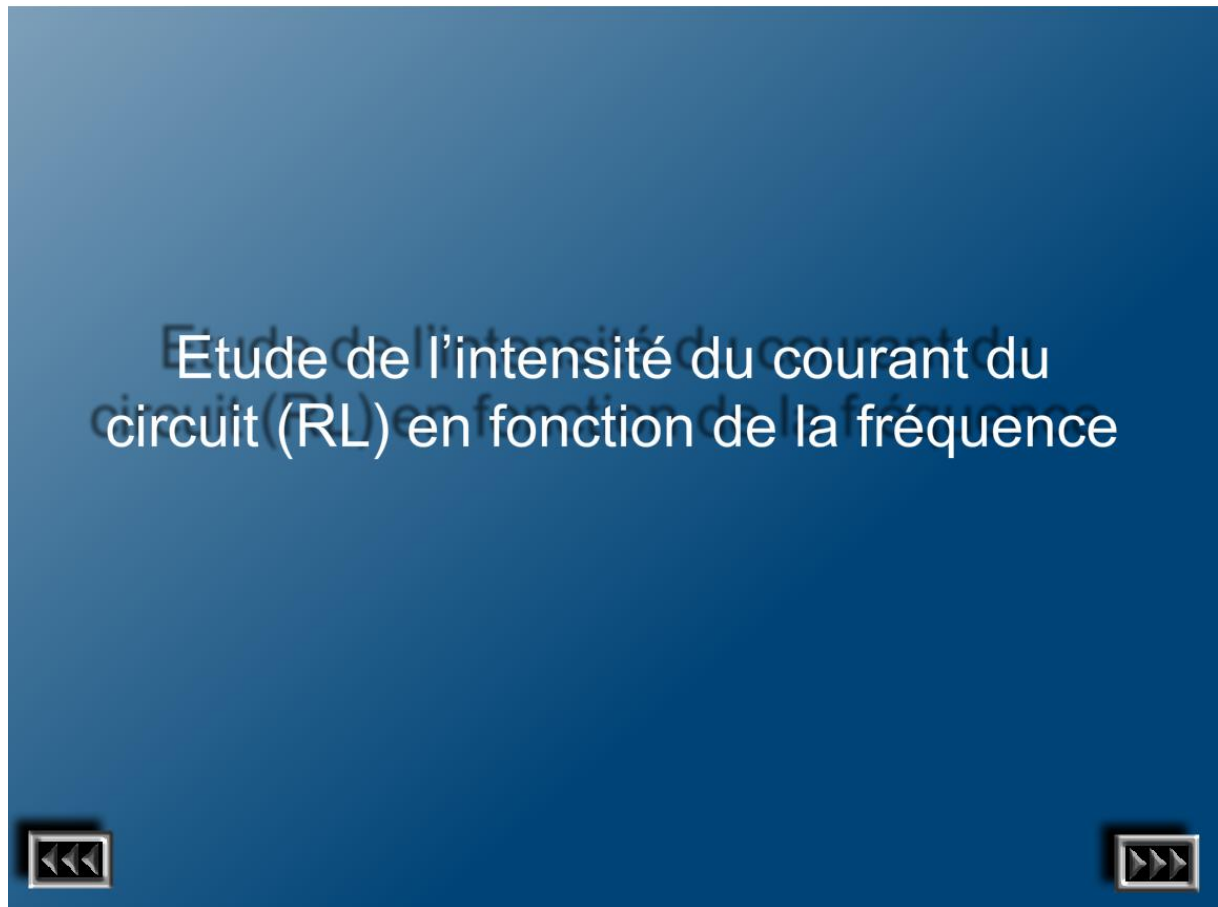
On en déduit les valeurs de  $Z_1$  et  $Z_2$  et on compare ces valeurs à  $L\omega_1$  et  $L\omega_2$  pour  $\omega_1 = 2\pi * 20 \text{ rad.s}^{-1}$  et  $\omega_2 = 2\pi * 1000 \text{ rad.s}^{-1}$

On trouve que  $Z_1 \approx L\omega_1$  et  $Z_2 \approx L\omega_2$ . Ce sont les impédances de la bobine ou réactances inductives pour les fréquences  $N_1 = 20\text{Hz}$  et  $N_2 = 1\text{kHz}$

### Conclusion

- ✓ L'amplitude de tension aux bornes d'une bobine est proportionnelle à l'amplitude du courant qui la traverse. Le coefficient de proportionnalité est l'impédance de la bobine  $Z = L\omega$
- ✓ Quand la fréquence augmente, l'impédance de la bobine augmente aussi.

### Expérience 3



Etude de l'intensité du circuit (RL) en fonction de la fréquence.

Contenus de la page correspondante

#### Principe

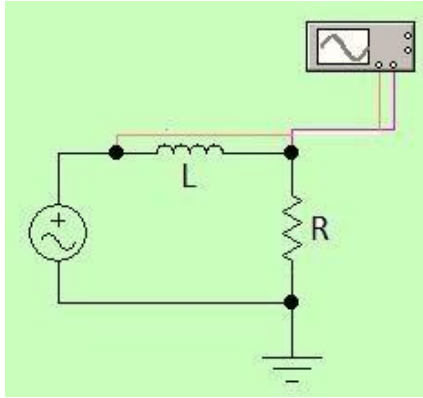
On fait varier la fréquence  $N$ . l'expérience consiste à relever l'amplitude du courant  $I_m$  pour chaque valeur de la fréquence puis tracer  $I_m = f(N)$ .

#### Matériels utilisés

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20 \, \Omega$
- ✓ Une bobine d'inductance  $L = 30\text{mH}$

#### Protocole

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ On fixe la tension du générateur à 15V.(valeur efficace)
- ✓ On règle le générateur de fréquence variable de façon à obtenir successivement les fréquences suivantes : 10Hz, 20Hz, 30Hz, 50Hz, 70Hz, 90Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 10000Hz, 20000Hz,
- ✓ On relève la tension aux bornes du résistor pour chaque valeur de la fréquence.
- ✓ Les résultats seront placés dans le tableau ci-dessous
- ✓ On représente ensuite dans un repère orthonormé les points de coordonnées  $(N, I_m)$

**Votre conclusion**

**Expérience 3**

*Etude de l'intensité du circuit (RL) en fonction de la fréquence.*

**Principe**

On fait varier la fréquence  $N$ . l'expérience consiste à relever l'amplitude du courant  $I_m$  pour chaque valeur de la fréquence puis tracer  $I_m = f(N)$ .

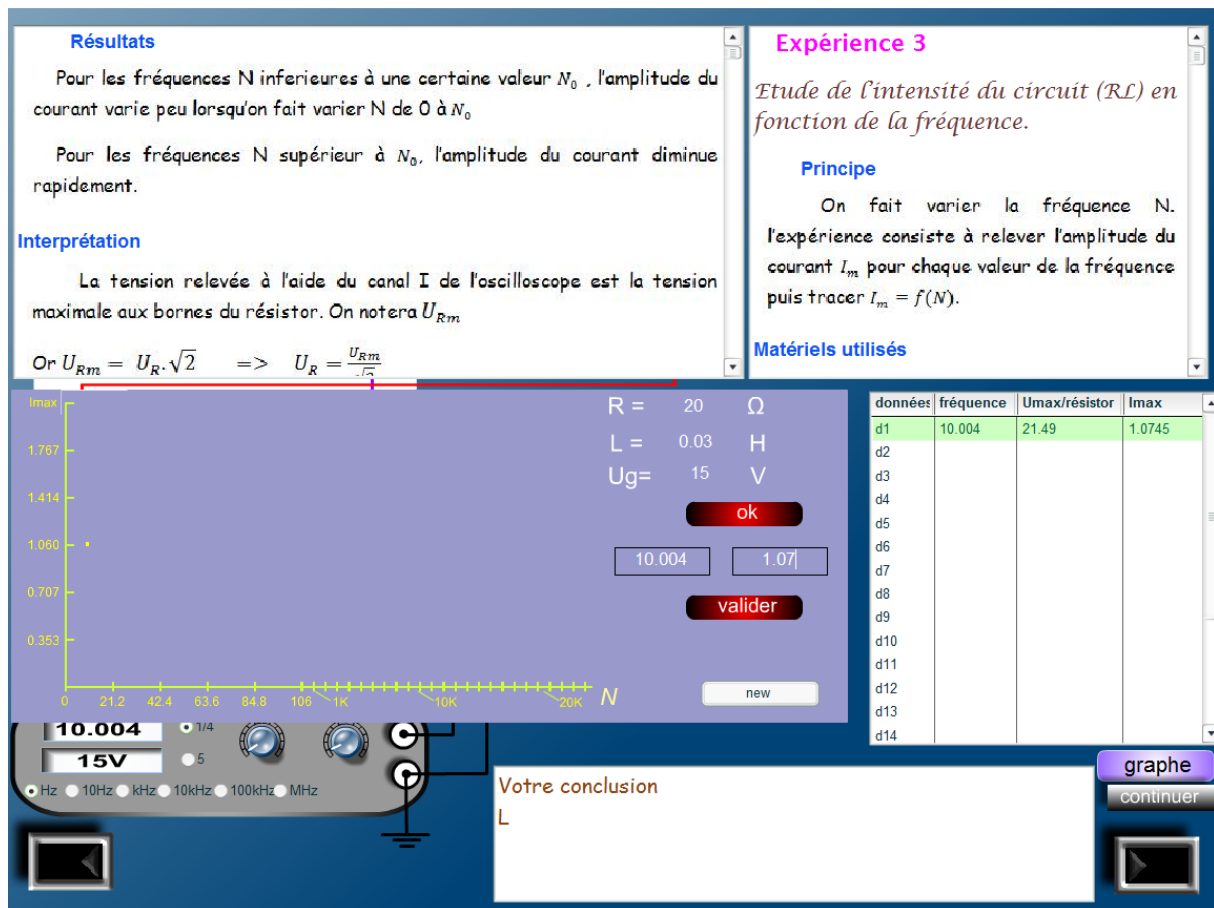
**Matériels utilisés**

données	fréquence	Umax/résistor	I <sub>max</sub>
d1	10.004	21.49	1.0745
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			
d7			
d8			
d9			
d10			
d11			
d12			
d13			
d14			

**Votre conclusion**

graphe





Résultats, interprétation et conclusion donnés par de didacticiel

### Résultats

Pour les fréquences  $N$  inférieures à une certaine valeur  $N_0$ , l'amplitude du courant varie peu lorsqu'on fait varier  $N$  de 0 à  $N_0$ .

Pour les fréquences  $N$  supérieures à  $N_0$ , l'amplitude du courant diminue rapidement.

### Interprétation

La tension relevée à l'aide du canal I de l'oscilloscope est la tension maximale aux bornes du résistor. On notera  $U_{mR}$ .

$$\text{Or } U_{mR} = U_R \cdot \sqrt{2} \Rightarrow U_R = \frac{U_{mR}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Et d'après la loi d'ohm } U_R = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{U_R}{R}$$

$$\text{Ainsi on obtient la valeur de l'intensité efficace } I = \frac{U_{mR}}{R \cdot \sqrt{2}}$$

D'après le graphe l'intensité du circuit diminue rapidement à partir d'une certaine fréquence.

D'après l'expérience 2 on a conclu que :  $U = Z.I \Rightarrow I = \frac{U}{Z}$  et Z augmente lorsque la fréquence augmente

D'autre part on a fixé la tension aux bornes du circuit (RL).

Donc la tension  $U_{AB}$  est constante, Z augmente lorsque la fréquence augmente ; par conséquent le rapport  $\frac{U_{AB}}{Z}$  diminue lorsque la fréquence augmente donc l'intensité diminue lorsque la fréquence augmente.

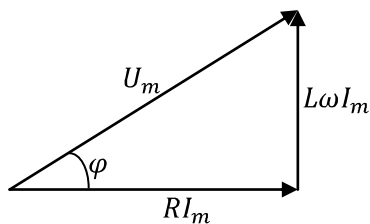
D'après la loi des mailles, les tensions instantanées  $u_G, u_R$  et  $u_L$  sont reliées par la relation :

$$u_G = u_R + u_L$$

$$u_L = L\omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = RI_m \sin(\omega t) + L\omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$\vec{u}_G \left| \begin{matrix} U_m \\ \varphi \end{matrix} \right. = \vec{u}_R \left| \begin{matrix} RI_m \\ 0 \end{matrix} \right. + \vec{u}_L \left| \begin{matrix} L\omega I_m \\ \frac{\pi}{2} \end{matrix} \right.$$



D'après ce diagramme on a :

$$U_m^2 = R^2 I_m^2 + (L\omega)^2 I_m^2 \Rightarrow U_m = I_m \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} = Z I_m$$

$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$  est l'impédance du circuit

**$L\omega$  est appelé réactance inductive**

$$\omega = 2\pi N$$

$$\Rightarrow I = \frac{U_{AB}}{\sqrt{R^2 + (2\pi N L)^2}}$$

D'après cette expression I dépend de Z, donc de la fréquence N

Etudions la variation de Z

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi N L)^2} \Rightarrow Z = R \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi N L}{R}\right)^2}$$

Alors Z varie peu si :

$$0 < \left(\frac{2.\pi N L}{R}\right)^2 \leq 1 \Rightarrow N \leq \frac{1}{2\pi} \frac{R}{L}$$

et augmente rapidement si :

$$\left(\frac{2.\pi N L}{R}\right)^2 > 1 \Rightarrow N > \frac{1}{2\pi} \frac{R}{L}$$

Pour  $N = N_0$  tel que

$$\left(\frac{2.\pi N_0 L}{R}\right)^2 = 1 \Rightarrow N_0 = \frac{1}{2.\pi} \frac{R}{L}$$

Donc pour une fréquence supérieure à  $N_0$ ,  $Z$  augmente rapidement ce qui explique la faible intensité sonore pour le son aigu.

### Conclusion

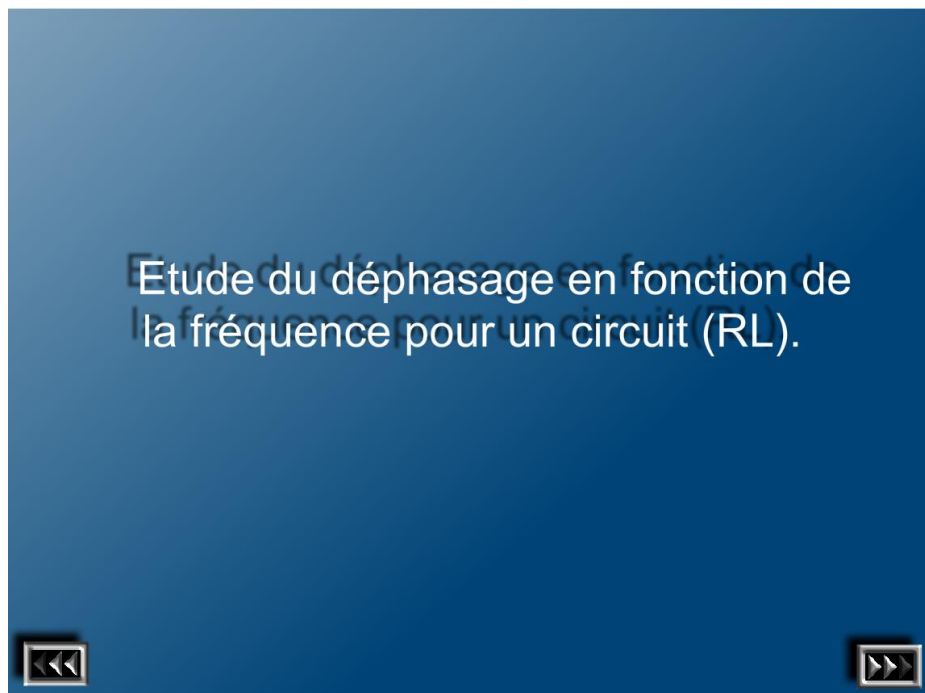
Pour un circuit (RL), si  $R \neq 0$  l'amplitude du courant est inversement proportionnelle à la fréquence.

L'amplitude de courant qui traverse le circuit varie peu lorsqu'on fait varier la fréquence de 0 à  $N_0$  (fréquence de coupure) puis diminue rapidement pour les fréquences supérieures à  $N_0$ .

On étudiera dans ce qui suit le déphasage entre tension et courant et son effet sur l'intensité sonore.

### Expérience 4

Etude du déphasage en fonction de la fréquence.



### Principe

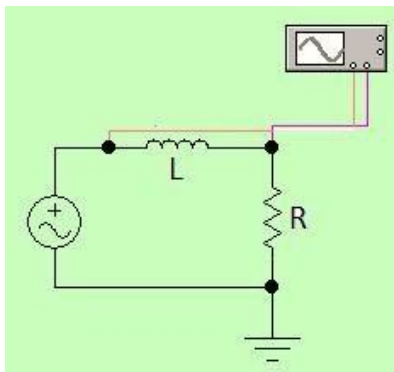
L'expérience consiste à relever le déphasage lorsqu'on varie la fréquence.

### Matériels utilisés

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20 \Omega$
- ✓ Une bobine d'inductance  $L = 30\text{mH}$

### Protocole

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ Relever la différence de temps entre les deux courbes pour les fréquences suivantes : 10Hz, 20Hz, 30Hz, 50Hz, 70Hz, 90Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 10000Hz, 20000Hz,
- ✓ Les résultats seront placés dans le tableau ci-dessous
- ✓ On représente ensuite dans un repère orthonormé les points de coordonnées  $(N, \varphi)$

### Votre conclusion

1.765ms

Focus 100 Base de temps 10ms

Calibre de tension I 10V Calibre de tension II 10V

AC GND AC GND

### Expérience 4

*Etude du déphasage en fonction de la fréquence.*

**Principe**  
L'expérience consiste à relever le déphasage lorsqu'on varie la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope
- Un résistor de résistance  $R = 20\ \Omega$
- Une bobine d'inductance  $L = 30\text{mH}$

données	fréquence	$\Delta t$ en ms	$\varphi$ en degré
d1	10.01	1.765	6.360354
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			
d7			
d8			
d9			
d10			
d11			
d12			
d13			
d14			

grapher

10.01 15V

Hz 10Hz kHz 10kHz 100kHz MHz

Votre conclusion

—

**Résultats**

Quand la fréquence est au voisinage de 0, le déphasage tend vers  $\pi/2$  et quand elle tend vers l'infini le déphasage tend vers 0.

**Interprétation**

Connaissant  $\Delta t$  on peut calculer le déphasage  $\varphi$  en radian, par la relation suivante :

$$\varphi = \omega \Delta t \quad ; \quad \omega = 2 \cdot \pi N \Rightarrow \varphi = 2 \cdot \pi N \cdot \Delta t$$

D'après le graphe :

Quand la fréquence est inférieure à 10, le déphasage est sensiblement

### Expérience 4

*Etude du déphasage en fonction de la fréquence.*

**Principe**  
L'expérience consiste à relever le déphasage lorsqu'on varie la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope
- Un résistor de résistance  $R = 20\ \Omega$
- Une bobine d'inductance  $L = 30\text{mH}$

données	fréquence	$\Delta t$ en ms	$\varphi$ en degré
d1	10.01	1.765	6.360354
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			
d7			
d8			
d9			
d10			
d11			
d12			
d13			
d14			

grapher

continuer

10.01 15V

Hz 10Hz kHz 10kHz 100kHz MHz

Votre conclusion

L

### Résultats

Quand la fréquence est au voisinage de 0, le déphasage tend vers 0 et quand elle tend vers l'infini le déphasage tend vers  $\pi/2$ .

### Interprétation

Connaissant  $\Delta t$  on peut calculer le déphasage  $\varphi$  en radian, par la relation suivante :

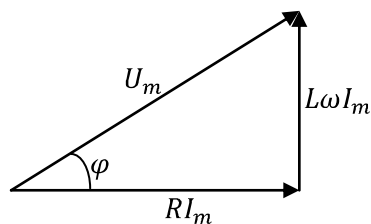
$$\varphi = \omega \Delta t \quad ; \quad \omega = 2.\pi N \Rightarrow \varphi = 2.\pi N.\Delta t$$

D'après le graphe :

Quand la fréquence est inférieure à  $N_0$ , le déphasage est sensiblement égal à 0

Quand la fréquence est supérieure à  $N_0$ , le déphasage augmente et si on fait tendre la fréquence vers l'infini le déphasage tend vers  $\pi/2$ .

On a déjà vu le diagramme de Fresnel correspondant à ce circuit



$$U_m^2 = R^2 I_m^2 + (L\omega)^2 I_m^2 \Rightarrow U_m = I_m \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{R \cdot I_m}{U_m} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$$

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}\right)$$

Cette relation confirme les résultats précédents :

Si  $N$  tend vers 0 alors  $\cos \varphi$  tend vers 1 donc  $\varphi$  tend vers 0

Si  $N$  tend vers  $\infty$  alors  $\cos \varphi$  tend vers 0 donc  $\varphi$  tend vers  $\pi/2$

L'expression de la puissance moyenne est :

$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

D'après cette relation le produit  $U.I$  est maximal si  $\cos \varphi = 1$  donc si  $\varphi = 0$  et minimal lorsque  $\cos \varphi = 0$  donc  $\varphi = \pm\pi/2$

Pour notre circuit quand la fréquence augmente, le déphasage  $\varphi$  tend vers  $\pm\pi/2$  alors  $\cos \varphi$  tend vers 0, par conséquent la puissance tend vers 0. Ainsi s'explique l'atténuation du son lorsque sa fréquence augmente.

### **Conclusion**

Le déphasage entre l'intensité et la tension affecte la puissance qui à son tour a un impact sur l'intensité sonore.

### **II.3.3 Etude d'un circuit RC en régime sinusoïdal forcé**

Similaire à l'étude du circuit RL, Cette étude comporte quatre expériences. Dans toutes ces expériences, l'apprenant consulte les protocoles, exécute les consignes, formule ses interprétations et conclusions et les compare avec celles proposées par le didacticiel.

L'apprenant verra le circuit RC raccordé sur le générateur de fréquence variable au lieu d'être alimenté par l'amplificateur.

La tension aux bornes du résistor est branchée sur le canal I de l'oscilloscope au lieu d'être branchée sur le haut-parleur.

La tension aux bornes du condensateur est branchée sur le canal II

Les valeurs de la résistance et de la capacité sont introduites en cliquant sur le résistor et sur le condensateur.

Les amplitudes de tension aux bornes du résistor et du condensateur sont mesurées à l'aide des curseurs horizontaux

#### **Expérience 1**

Etude de l'amplitude de la tension de sortie en fonction de la fréquence.

#### **Principe**

L'expérience consiste à envoyer un signal à travers le circuit (RC). On fixe l'amplitude de tension délivrée par le générateur. On fait varier la fréquence du signal et on relève l'amplitude de la tension de sortie aux bornes du résistor.

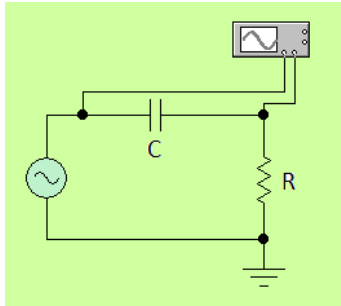
#### **Matériels utilisés**

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20 \Omega$

- ✓ Un condensateur de capacité  $C = 10\mu\text{F}$

## Protocole

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ On garde l'amplitude de la tension d'entrée constante.
- ✓ L'oscilloscope nous permet de mesurer la fréquence  $N$  des signaux d'entrée et relever l'amplitude de la tension  $U_{Rm}$  aux bornes du résistor (amplitude de la tension de sortie).
- ✓ On relève  $U_{Rm}$  pour les fréquences suivantes : 10Hz, 20Hz, 30Hz, 50Hz, 70Hz, 90Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 10000Hz, 20000Hz,
- ✓ On représente ensuite dans un repère orthonormé les points de coordonnées  $(N, U_{Rm})$ .

## Votre conclusion

**Expérience 1**

*Etude de l'amplitude de tension de sortie en fonction de la fréquence.*

**Principe**

L'expérience consiste à envoyer un signal à travers le circuit (RC). On fixe l'amplitude de tension délivrée par le générateur. On fait varier la fréquence du signal et on relève l'amplitude de la tension de sortie aux bornes du résistor.

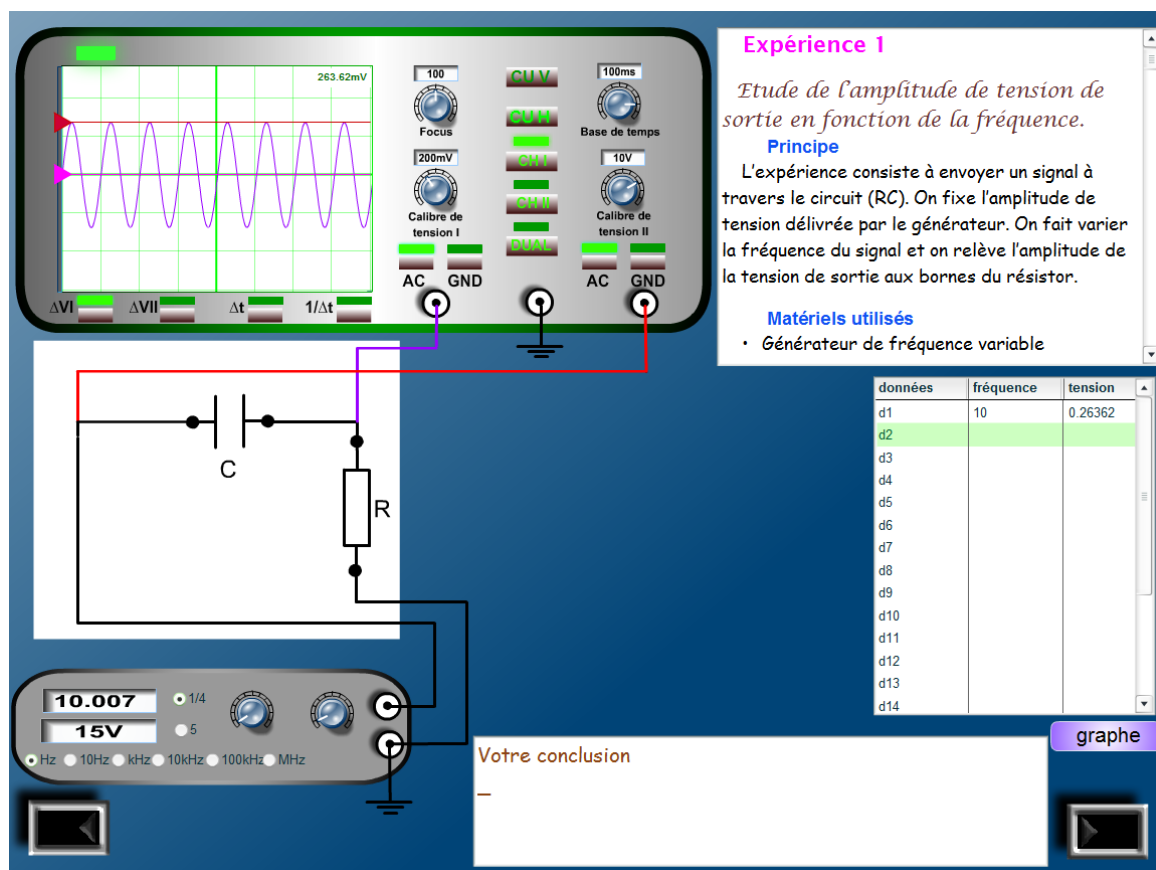
**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable

données	fréquence	tension
d1		
d2		
d3		
d4		
d5		
d6		
d7		
d8		
d9		
d10		
d11		
d12		
d13		
d14		

**graphe**





Résultats, interprétation et conclusion donnés par le didacticiel

### Résultats

On constate que l'amplitude de tension augmente rapidement quand la fréquence  $N$  augmente et varie lentement à partir d'une certaine valeur de  $N=N_0$

### Interprétation

L'amplitude du courant qui traverse le circuit est  $I_m = \frac{U_{Rm}}{R}$ .

La résistance  $R$  est constante donc  $I_m$  augmente quand  $U_{Rm}$  augment. L'amplitude du courant qui traverse le circuit augment quand la fréquence augmente.

### Conclusion

Le circuit (RC) atténue le son grave et laisse passer le son aigu.


Cette conclusion nous conduit à une autre problématique qui fera l'objet de notre étude.

*Les résultats de cette première expérience conduisent à d'autres questions.*

Quelles sont les caractéristiques d'un condensateur ?

Sont-elles liées à la fréquence du signal d'entrée ?

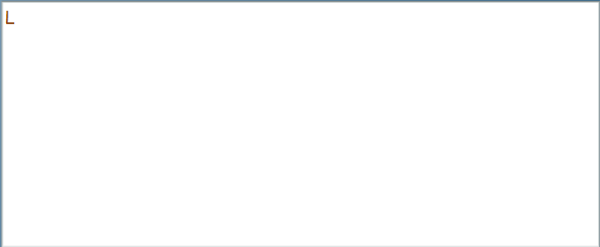
Quelle relation existe-t-il entre la fréquence et l'intensité du courant ?



*L'apprenant émet ses hypothèses et consulte celle proposée par le logiciel.*

Hypothèses

L



continuer



## Hypothèses

L

continuer

Pour un résistor de résistance  $R$ , la tension à ses bornes est toujours proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse (loi d'ohm) aussi bien en courant continu qu'en courant alternatif. Or l'amplitude de la tension appliquée au circuit est constante donc la variation de l'amplitude du courant ne provient pas du résistor.

Ainsi nous allons émettre l'hypothèse suivante :

L'amplitude de la tension aux bornes d'un condensateur est proportionnelle à l'amplitude du courant qui le traverse et le coefficient de proportionnalité  $Z$  (impédance) varie avec la

*L'hypothèse du logiciel est étudiée dans les trois expériences qui vont suivre.*

Contenus de la page « Expérience 2 »

### Expérience 2

Caractéristique d'un condensateur.

#### Principe

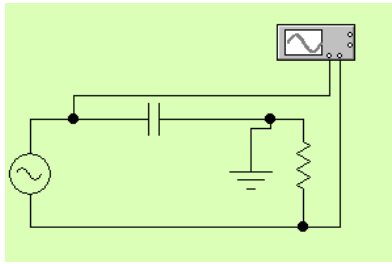
L'expérience consiste à suivre l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes du condensateur en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit pour différentes valeurs de la fréquence.

#### Matériels utilisés

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20 \Omega$
- ✓ Un condensateur de capacité  $C = 10 \mu F$

## Protocole

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ On fixe une valeur de la fréquence. On fait varier l'amplitude de la tension délivrée par le générateur. On mesure l'amplitude de tension  $U_{Cm}$  aux bornes du condensateur et l'amplitude  $I_m$  du courant qui traverse le circuit pour chaque valeur de l'amplitude de tension délivrée par le générateur.
- ✓ On refait la même expérience pour une autre valeur de la fréquence.
- ✓ Le canal I de l'oscilloscope mesure l'amplitude de tension aux bornes du résistor et on en déduit l'amplitude du courant qui traverse le circuit.
- ✓ Le canal II mesure l'amplitude de tension aux bornes du condensateur.
- ✓ On prendra successivement une fréquence de 100Hz et 1kHz. Les résultats seront consignés dans les tableaux I et II.
- ✓ On représente ensuite dans un repère orthonormé les points de coordonnées  $(I_m, U_{Cm})$ .

### Expérience 2

*Caractéristique d'un condensateur.*

**Principe**  
L'expérience consiste à suivre l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes du condensateur en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit pour différentes valeurs de la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope

données I	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1	7.02	0.18052	0.009026
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			

données II	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1			
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			

**Votre conclusion**

graphe

**Résultats**

Les points du tableau I sont sensiblement alignés  
De même pour les points du tableau II.

**Interprétation**

Pour chaque tableau, on trace sur un papier millimétré  $U_{cm} = f(I_m)$ .

On obtient deux droites de la forme  $U = Z_1 I$  et  $U = Z_2 I$ . On en déduit les valeurs de  $Z_1$  et  $Z_2$  et on compare ces valeurs à  $\frac{1}{C\omega_1}$  et  $\frac{1}{C\omega_2}$  pour  $\omega_1 = 2\pi \times 100\text{rads}^{-1}$  et  $\omega_2 = 2\pi \times 1000\text{rads}^{-1}$ .

**Expérience 2**

*Caractéristique d'un condensateur.*

**Principe**

L'expérience consiste à suivre l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes du condensateur en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit pour différentes valeurs de la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope

données I	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1	7.02	0.18052	0.009026
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			

données II	Umax/bobine	Umax/résistor	I max
d1			
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			

**Votre conclusion**

L

graphie

continuer

Résultats, interprétation et conclusion donnés par le didacticiel

### Résultats

- ✓ Les points du tableau I sont sensiblement alignés
- ✓ De même pour les points du tableau II.

### Interprétation

Pour chaque tableau, on trace sur un papier millimétré  $U_{cm} = f(I_m)$ .

On obtient deux droites de la forme  $U = Z_1 I$  et  $U = Z_2 I$ . On en déduit les valeurs de  $Z_1$  et  $Z_2$  et on compare ces valeurs à  $\frac{1}{C\omega_1}$  et  $\frac{1}{C\omega_2}$  pour  $\omega_1 = 2\pi \times 100\text{rads}^{-1}$  et  $\omega_2 = 2\pi \times 1000\text{rads}^{-1}$ .

On trouve que  $Z_1 = \frac{1}{C\omega_1}$  et  $Z_2 = \frac{1}{C\omega_2}$ . Ce sont les impédances du condensateur pour les fréquences  $N_1 = 100\text{Hz}$  et  $N_2 = 1000\text{Hz}$

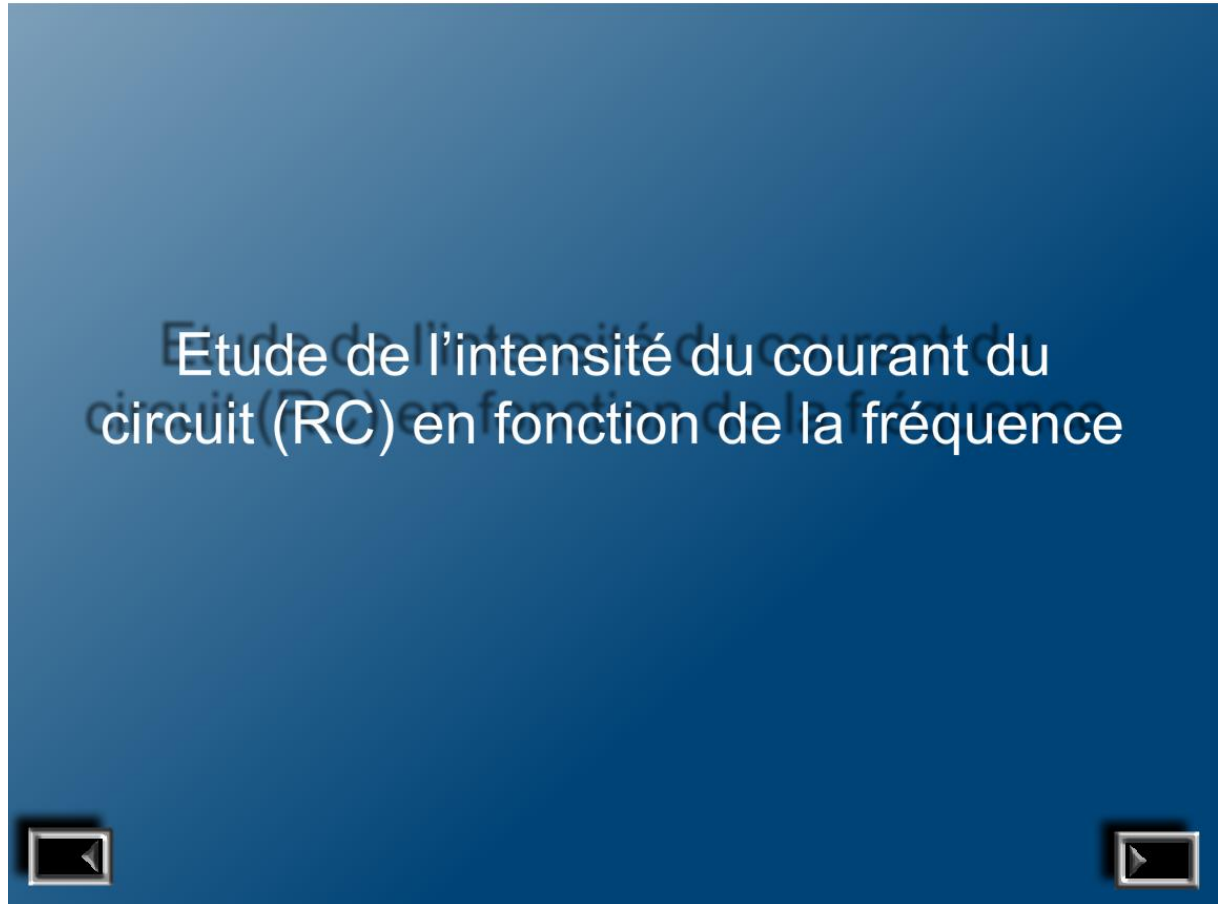
### Conclusion

- ✓ L'amplitude de la tension aux bornes d'un condensateur est proportionnelle à l'amplitude du courant qui le traverse. Le coefficient de proportionnalité est l'impédance du condensateur :  $Z = \frac{1}{C\omega}$
- ✓ Quand la fréquence augmente, l'impédance du condensateur diminue.

*Maintenant nous allons voir la relation entre l'intensité du courant et de la fréquence*

### Expérience 3

Etude du courant du circuit en fonction de la fréquence



#### Principe

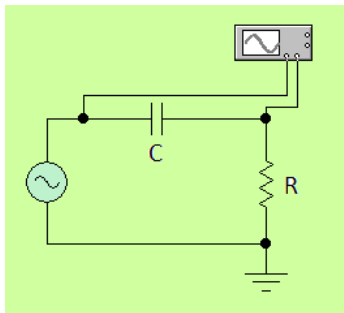
On fait varier la fréquence  $N$ , l'expérience consiste à relever l'amplitude du courant  $I_m$  pour chaque valeur de la fréquence puis tracer  $I_m = f(N)$

#### Matériels utilisés

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20 \, \Omega$
- ✓ Un condensateur de capacité  $C = 10 \, \mu\text{F}$

## Protocole

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ On fixe la tension du générateur à 15V. (valeur efficace)
- ✓ On règle le générateur de fréquence variable de façon à obtenir successivement les fréquences suivantes 10Hz, 20Hz, 30Hz, 50Hz, 70Hz, 90Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 10000Hz, 20000Hz,
- ✓ On relève la tension aux bornes du résistor pour chaque valeur de la fréquence.
- ✓ Les résultats seront placés dans le tableau ci-dessous
- ✓ On représente ensuite dans un repère orthonormé les points de coordonnées  $(N, I_m)$

### Expérience 3

*Etude de l'intensité du courant du circuit R, C en fonction de la fréquence*

**Principe**

On fait varier la fréquence  $N$ . l'expérience consiste à relever l'amplitude du courant  $I_m$  pour chaque valeur de la fréquence puis tracer  $I_m = f(N)$

**Matériels utilisés**

données	fréquence	Umax/résistor	I <sub>max</sub>
d1	20.081	0.558	0.0279
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			
d7			
d8			
d9			
d10			
d11			
d12			
d13			
d14			

Votre conclusion

graphes

**Résultats**

Pour les fréquences  $N$  inférieures à une certaine  $N_0$ , l'amplitude du courant augmente rapidement lorsqu'on fait varier  $N$  de 0 à  $N_0$ .

Pour les fréquences  $N$  supérieures à  $N_0$ , l'amplitude du courant varie peu.

**Interprétation**

La tension relevée à l'aide du canal I de l'oscilloscope est la tension maximale aux bornes du résistor. On notera  $U_{mR}$

On  $I = I_m \cdot \sqrt{2} \Rightarrow I_m = \frac{U_{mR}}{\sqrt{2}}$

**Expérience 3**

*Etude de l'intensité du courant du circuit R, C en fonction de la fréquence*

**Principe**

On fait varier la fréquence  $N$ . l'expérience consiste à relever l'amplitude du courant  $I_m$  pour chaque valeur de la fréquence puis tracer  $I_m = f(N)$

**Matériels utilisés**

données	fréquence	Umax/résistor	I <sub>max</sub>
d1	20.081	0.558	0.0279
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			
d7			
d8			
d9			
d10			
d11			
d12			
d13			
d14			

**Votre conclusion**

L

Résultats, interprétation et conclusion donnés par le logiciel

### Résultats

- ✓ Pour les fréquences  $N$  inférieures à une certaine valeur  $N_0$ , l'amplitude du courant augmente rapidement lorsqu'on fait varier  $N$  de 0 à  $N_0$ .
- ✓ Pour les fréquences  $N$  supérieures à  $N_0$ , l'amplitude du courant varie peu.

### Interprétation

La tension relevée à l'aide du canal I de l'oscilloscope est la tension maximale aux bornes du résistor. On notera  $U_{mR}$

$$\text{Or } U_{mR} = U_R \cdot \sqrt{2} \Rightarrow U_R = \frac{U_{mR}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{et d'après la loi d'ohm } U_R = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{U_R}{R}$$

$$\text{Ainsi on obtient la valeur de l'intensité efficace } I = \frac{U_{mR}}{R \cdot \sqrt{2}}$$

D'après le graphe l'intensité du circuit augmente rapidement à partir d'une certaine fréquence.



D'après l'expérience 2 on a conclu que :  $U = Z.I \Rightarrow I = \frac{U}{Z}$  et  $Z$  diminue lorsque la fréquence augmente

D'autre part on a fixé la tension aux bornes du circuit (RC).

Donc la tension  $U_{AB}$  aux bornes AB est constante, et  $Z$  diminue lorsque la fréquence augmente ; par conséquent le rapport  $\frac{U_{AB}}{Z}$  augmente lorsque la fréquence augmente.

Alors c'est ainsi que l'intensité augmente lorsque la fréquence augmente.

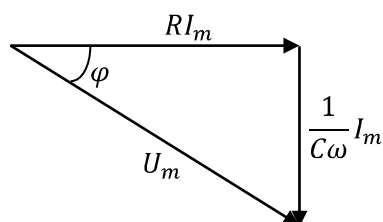
D'après la loi des mailles, les tensions instantanées  $U_G, U_R, U_C$  sont reliées par la relation :

$$u_G = u_R + u_C$$

$$u_C = \frac{1}{C\omega} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = R I_m \sin(\omega t) + \frac{1}{C\omega} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$\vec{u}_G \left| \begin{matrix} U_m \\ \varphi \end{matrix} \right. = \vec{u}_R \left| \begin{matrix} R I_m \\ 0 \end{matrix} \right. + \vec{u}_C \left| \begin{matrix} \frac{1}{C\omega} I_m \\ -\frac{\pi}{2} \end{matrix} \right.$$



D'après ce diagramme on a :

$$U_m^2 = R^2 I_m^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2 I_m^2 \Rightarrow U_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2} = Z I_m$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2} \text{ est l'impédance du circuit}$$

$\frac{1}{C\omega}$  est appelé réactance capacitive

$$\omega = 2\pi N$$

$$\Rightarrow I = \frac{U_{AB}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi N C}\right)^2}}$$

D'après cette expression la variation de  $I$  dépend de la variation de  $Z$  donc

Etudions la variation de Z

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi NRC}\right)^2} \Rightarrow Z = R \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\pi NRC}\right)^2}$$

Z varie peu si :

$$0 < \left(\frac{1}{2\pi NRC}\right)^2 \leq 1 \Rightarrow N \geq \frac{1}{2\pi RC}$$

Et augmente rapidement si :

$$\left(\frac{1}{2\pi NRC}\right)^2 > 1 \Rightarrow N < \frac{1}{2\pi RC}$$

Pour  $N = N_0$  tel que

$$\left(\frac{1}{2\pi N_0 RC}\right)^2 = 1 \Rightarrow N_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Donc pour une fréquence inférieure à  $N_0$ , Z augmente rapidement ce qui explique la faible intensité sonore pour le son grave.

### Conclusion

- ✓ Pour un circuit RC, si  $R = 0$  l'amplitude du courant est proportionnelle à la fréquence
- ✓ Lorsqu'on fait varier la fréquence de 0 à  $N_0$  (fréquence de coupure), l'amplitude du courant qui traverse le circuit augmente rapidement. Pour les valeurs de N supérieures à  $N_0$ , l'amplitude du courant varie peu.

***On étudiera dans ce qui suit le déphasage entre tension et courant et son effet sur l'intensité sonore.***

## Expérience 4

Etude du déphasage en fonction de la fréquence.



### Principe

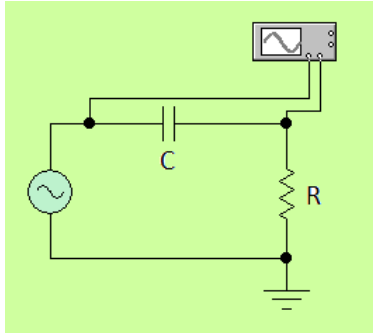
L'expérience consiste à relever le déphasage lorsqu'on varie la fréquence.

### Matériels utilisés

- ✓ Générateur de fréquence variable
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Un résistor de résistance  $R = 20 \, \Omega$
- ✓ Un condensateur de capacité  $C = 10 \, \mu\text{F}$

## Protocole

Considérons le montage de la figure suivante :



- ✓ Relever la différence de temps entre les deux courbes pour les fréquences suivantes : 10Hz, 20Hz, 30Hz, 50Hz, 70Hz, 90Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 10000Hz, 20000Hz,
- ✓ Les résultats seront placés dans le tableau ci-dessous
- ✓ Puis appuyer sur le bouton graphe pour afficher le graphe.
- ✓ On représente en suite dans un repère orthonormé les points de coordonnée  $(N, \varphi)$

### Expérience 4

*Etude du déphasage en fonction de la fréquence.*

**Principe**  
L'expérience consiste à relever le déphasage lorsqu'on varie la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope
- Un résistor de résistance  $R = 20 \Omega$
- Un condensateur de capacité  $C = 10 \mu F$

données	fréquence	$\Delta t$	$\varphi$ en degré
d1	10	24.706	88.9416
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			
d7			
d8			
d9			
d10			
d11			
d12			
d13			
d14			

Votre conclusion

**Résultats**

Quand la fréquence est au voisinage de 0, le déphasage tend vers  $\pi/2$  et quand elle tend vers l'infini le déphasage tend vers 0.

**Interprétation**

Connaissant  $\Delta t$  on peut calculer le déphasage  $\varphi$  en radian, par la relation suivante :

$$\varphi = \omega \Delta t \quad ; \quad \omega = 2 \cdot \pi N \Rightarrow \varphi = 2 \cdot \pi N \cdot \Delta t$$

D'après le graphe :

**Expérience 4**

*Etude du déphasage en fonction de la fréquence.*

**Principe**

L'expérience consiste à relever le déphasage lorsqu'on varie la fréquence.

**Matériels utilisés**

- Générateur de fréquence variable
- Oscilloscope
- Un résistor de résistance  $R = 20 \, \Omega$
- Un condensateur de capacité  $C = 10 \, \mu F$

données	fréquence	$\Delta t$	$\varphi$ en degré
d1	10	24.706	88.9416
d2			
d3			
d4			
d5			
d6			
d7			
d8			
d9			
d10			
d11			
d12			
d13			
d14			

**Votre conclusion**

L

Résultats, interprétation et conclusion donnés par le didacticiel

### Résultats

Quand la fréquence est au voisinage de 0, le déphasage tend vers  $\pi/2$  et quand elle tend vers l'infini le déphasage tend vers 0.

### Interprétation

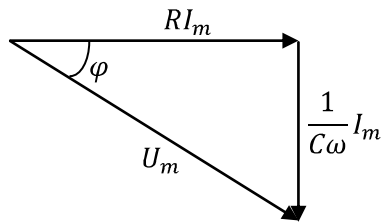
Connaissant  $\Delta t$  on peut calculer le déphasage  $\varphi$  en radian, par la relation suivante :

$$\varphi = \omega \Delta t \quad ; \quad \omega = 2 \cdot \pi N \Rightarrow \varphi = 2 \cdot \pi N \cdot \Delta t$$

D'après le graphe :

- ✓ Quand la fréquence est inférieure à  $N_0$ , le déphasage tend vers  $\pi/2$
- ✓ Quand la fréquence est supérieure à  $N_0$ , le déphasage tend vers 0.

On a déjà vu le diagramme de Fresnel correspondant à ce circuit



$$U_m^2 = R^2 I_m^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2 I_m^2 \Rightarrow U_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{RI_m}{U_m} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left( \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}} \right)$$

Cette relation confirme les résultats précédents :

- ✓ Si  $N$  tend vers 0 alors  $\cos \varphi$  tend vers 0 donc  $\varphi$  tend vers  $\pi/2$
- ✓ Si  $N$  tend vers  $\infty$  alors  $\cos \varphi$  tend vers 1 donc  $\varphi$  tend vers 0

L'expression de la puissance moyenne est :

$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

D'après cette relation le produit  $U \cdot I$  est maximal si  $\cos \varphi = 1$  donc si  $\varphi = 0$  et minimal lorsque  $\cos \varphi = 0$  donc  $\varphi = \pm \pi/2$

Pour notre circuit quand la fréquence diminue, le déphasage  $\varphi$  tend vers  $\pm \pi/2$  alors  $\cos \varphi$  tend vers 0, par conséquent la puissance tend vers 0. Ainsi s'explique l'atténuation du son grave.

### Conclusion

Le déphasage entre le courant et la tension affecte la puissance qui à son tour a un impact sur l'intensité sonore.

## II.4 Fenêtres relatives à l'évaluation formative

Cinq exercices sont proposés.

### EXERCICE 1

Un circuit série est composé d'une résistance de  $220\Omega$  et d'une inductance  $150\text{mH}$ . Il est raccordé sur une source de tension efficace  $U_s = 30\text{V}$  dont la fréquence est  $160\text{Hz}$ .

Calculer l'impédance, toutes les amplitudes de tension, et l'amplitude du courant, le déphasage et la fréquence de coupure.

$Z =$ <input type="text"/>	$U_{Rm} =$ <input type="text"/>	$U_{Lm} =$ <input type="text"/>
$I_m =$ <input type="text"/>	$\varphi =$ <input type="text"/>	$N_0 =$ <input type="text"/>

### EXERCICE 2

Un circuit série est composé d'une résistance de  $120\Omega$  et d'un condensateur de  $2\mu\text{F}$ . Il est raccordé sur une source de tension  $30\text{V}$  dont la fréquence est de  $60\text{Hz}$ .

Calculer l'impédance, toutes les amplitudes de tension, l'amplitude du courant, l'angle de déphasage et la fréquence de coupure.

$Z =$ <input type="text"/>	$U_{Rm} =$ <input type="text"/>	$U_{Cm} =$ <input type="text"/>
$I_m =$ <input type="text"/>	$\varphi =$ <input type="text"/>	$N_0 =$ <input type="text"/>

### EXERCICE 1

Un circuit série est composé d'une résistance de  $220\Omega$  et d'une inductance  $150\text{mH}$ . Il est raccordé sur une source de tension efficace  $U_s = 30\text{V}$  dont la fréquence est  $160\text{Hz}$ .

Calculer l'impédance, toutes les amplitudes de tension, et l'amplitude du courant, le déphasage et la fréquence de coupure.

$Z =$ <input type="text" value="266.72"/>	$U_{Rm} =$ <input type="text"/>	$U_{Lm} =$ <input type="text"/>
$I_m =$ <input type="text"/>	$\varphi =$ <input type="text"/>	$N_0 =$ <input type="text"/>

Réponse

### EXERCICE 2

Un circuit série est composé d'une résistance de  $120\Omega$  et d'un condensateur de  $2\mu\text{F}$ . Il est raccordé sur une source de tension  $30\text{V}$  dont la fréquence est de  $60\text{Hz}$ .

Calculer l'impédance, toutes les amplitudes de tension, l'amplitude du courant, l'angle de déphasage et la fréquence de coupure.

$Z =$ <input type="text"/>	$U_{Rm} =$ <input type="text"/>	$U_{Cm} =$ <input type="text"/>
$I_m =$ <input type="text"/>	$\varphi =$ <input type="text"/>	$N_0 =$ <input type="text"/>

### Solution de l'exercice 1

On doit calculer :  $Z, U_{Rm}, U_{Lm}, I_m, \varphi$  et  $N_0$

Calcul de  $Z$

$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  avec  $X_L = L\omega$  la réactance inductive

$$X_L = 2\pi N.L$$

$$X_L = 2\pi \times 160 \times 150 \cdot 10^{-3} = 150,79\Omega$$

$$Z = \sqrt{220^2 + 150,79^2} = 266,72\Omega$$

$$Z = 266,72\Omega$$

Calcul de  $I_m$

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \text{ or } U_m = U_s \sqrt{2} \Rightarrow I_m = \frac{U_s \sqrt{2}}{Z}$$

$$I_m = \frac{30\sqrt{2}}{266,72} = 159,06 \text{ mA}$$

$$I_m = 159,06 \text{ mA}$$

Calcul des tensions :  $U_{Rm}, U_{Lm}$

$$U_{Rm} = RI_m \Rightarrow U_{Rm} = 220 \times 159,06 \cdot 10^{-3} = 34,99 \text{ V}$$

$$U_{Rm} = 34,99 \text{ V}$$

### Exercice 1 (solution)

Un circuit série est composé d'une résistance de  $220\Omega$  et d'une inductance  $150\text{mH}$ . Il est raccordé sur une source de tension efficace  $U_s = 30\text{V}$  dont la fréquence est  $160\text{Hz}$ .

Calculer l'impédance, toutes les amplitudes de tension, et l'amplitude du courant, le déphasage et la fréquence de coupure.

On doit calculer :  $Z, U_{Rm}, U_{Lm}, I_m, \varphi$  et  $N_0$

- Calcul de  $Z$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{avec } X_L = L\omega \text{ la réactance inductive}$$

$$X_L = 2\pi N.L$$

$$X_L = 2\pi \times 160 \times 150 \cdot 10^{-3} = 150,79\Omega$$

$$Z = \sqrt{220^2 + 150,79^2} = 266,72\Omega$$

$$Z = 266,72\Omega$$

- Calcul de  $I_m$

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \quad \text{or} \quad U_m = U_s\sqrt{2} \quad \Rightarrow \quad I_m = \frac{U_s\sqrt{2}}{Z}$$

$$I_m = \frac{30\sqrt{2}}{266,72} = 159,06 \text{ mA}$$

$$I_m = 159,06 \text{ mA}$$

- Calcul des tensions :  $U_{Rm}, U_{Lm}$

$$U_{Rm} = RI_m \quad \Rightarrow \quad U_{Rm} = 220 \times 159,06 \cdot 10^{-3} = 34,99 \text{ V}$$

$$U_{Rm} = 34,99\text{V}$$

$$U_{Lm} = X_L I_m \quad \Rightarrow \quad U_{Lm} = 150,79 \times 159,06 \cdot 10^{-3} = 23,98\text{V}$$

$$U_{Lm} = 23,98\text{V}$$

- Calcul du déphasage :



$$\varphi = \cos^{-1} \left( \frac{R}{Z} \right) \quad \Rightarrow \quad \varphi = \cos^{-1} \left( \frac{220}{266,72} \right) = 34,42^\circ$$

$$\boxed{\varphi = 34,42^\circ}$$

- Calcul de la fréquence de coupure

$$N_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{R}{L} \quad \Rightarrow \quad N_0 = \frac{220}{2\pi \times 150 \cdot 10^{-3}} = 233,42 \text{ Hz}$$

$$\boxed{N_0 = 223,42 \text{ Hz}}$$

- Contrôle des tensions :

$$U_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{U_{Rm}^2 + U_{Lm}^2} \quad \Rightarrow \quad U_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{34,99^2 + 23,98^2} = 29,999 \text{ V} \approx 30 \text{ V}$$

### Exercice 2 (solution)

Un circuit série est composé d'une résistance de  $120\Omega$  et d'un condensateur de  $2\mu\text{F}$ . il est raccordé sur une source de tension  $30\text{V}$  dont la fréquence est de  $60\text{Hz}$

Calculer l'impédance, toutes les amplitudes de tension, l'amplitude du courant, l'angle de déphasage et la fréquence de coupure.

- Calcul de  $Z$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \text{avec } X_C = \frac{1}{C\omega} \text{ la réactance inductive}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi N \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 60 \times 2 \cdot 10^{-6}} = 1326,29\Omega$$

$$Z = \sqrt{120^2 + 1326,29^2} = 1331,70\Omega$$

$$\boxed{Z = 1331,70\Omega}$$

- Calcul de  $I_m$

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \quad \text{or} \quad U_m = U_s \sqrt{2} \quad \Rightarrow \quad I_m = \frac{U_s \sqrt{2}}{Z}$$

$$I_m = \frac{30\sqrt{2}}{1331,70} = 31,85 \text{ mA}$$

$$I_m = 31,85 \text{ mA}$$

- Calcul des tensions :  $U_{Rm}, U_{Cm}$

$$U_{Rm} = RI_m \quad \Rightarrow \quad U_{Rm} = 120 \times 31,85 \cdot 10^{-3} = 3,82 \text{ V}$$

$$U_{Rm} = 3,82 \text{ V}$$

$$U_{Cm} = X_C I_m \quad \Rightarrow \quad U_{Cm} = 1326,29 \times 31,85 \cdot 10^{-3} = 42,25 \text{ V}$$

$$U_{Cm} = 42,25 \text{ V}$$

- Calcul du déphasage :

$$\varphi = \cos^{-1} \left( \frac{R}{Z} \right) \quad \Rightarrow \quad \varphi = \cos^{-1} \left( \frac{120}{1331,70} \right) = 84,83^\circ$$

$$\varphi = 84,83^\circ$$

- Calcul de la fréquence :

$$N_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad \Rightarrow \quad N_0 = \frac{220}{2\pi \times 120 \times 2 \cdot 10^{-6}} = 663,14 \text{ Hz}$$

$$N_0 = 663,14 \text{ Hz}$$

- Contrôle des tensions :

$$U_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{U_{Rm}^2 + U_{Cm}^2} \quad \Rightarrow \quad U_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{3,82^2 + 42,25^2} = 29,997 \text{ V} \approx 30 \text{ V}$$

**EXERCICE3**

Calculer le courant qui circule dans une inductance de 32mH si elle est raccordée à un générateur de tension alternatif de 50V/400Hz

I =  mA

**EXERCICE4**

Une bobine a une réactance de 475Ω et elle est raccordée à un générateur dont la fréquence est 200Hz. Calculer l'inductance de la bobine.

L =  mH

**EXERCICE5**

Quelle est la capacité d'un condensateur si sa réactance vaut 42.5Ω pour une fréquence de 2.5kHz ?

C =  μF

**EXERCICE3**

Calculer le courant qui circule dans une inductance de 32mH si elle est raccordée à un générateur de tension alternatif de 50V/400Hz

I =  mA    I = 621,7 mA

Réponse

Pour les détails →

Plus

**EXERCICE4**

Une bobine a une réactance de 475Ω et elle est raccordée à un générateur dont la fréquence est 200Hz. Calculer l'inductance de la bobine.

L =  mH    L = 378 mH

Réponse

Pour les détails →

Plus

**EXERCICE5**

Quelle est la capacité d'un condensateur si sa réactance vaut 42.5Ω pour une fréquence de 2.5kHz ?

C =  μF    C = 1.5 μF

Réponse

Pour les détails →

Plus



**EXERCICE3**

Calculer le courant qui circule dans une inductance de 32mH si elle est raccordée à un générateur de tension alternatif de 50V/400Hz

I =  mA    I = 621,7 mA

Réponse

Pour les détails 

Plus

**EXERCICE4**

Une bobine a une réactance de 475Ω et elle est raccordée à un générateur dont la fréquence est 200Hz. Calculer l'inductance de la bobine.

L =  mH    L = 378 mH

Réponse

Pour les détails 


Plus

**EXERCICE5**

Quelle est la capacité d'un condensateur si sa réactance vaut 42.5Ω pour une fréquence de 2.5kHz ?

C =  μF    C = 1.5 μF

Réponse

Pour les détails 

Plus

**Solution de l'exercice 3**

Pour une bobine :  $U_L = X_L I$

$$I = \frac{U_L}{X_L} \quad X_L = 2\pi N L$$

$$I = \frac{U_L}{2\pi N L} \quad I = \frac{50}{2\pi \times 400 \times 0.032}$$

$$I = 621,7 \text{ mA}$$

**Solution de l'exercice 4**

$$X_L = 2\pi N L$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi N} \quad L = \frac{475}{2\pi \times 200}$$

$$L = 378 \text{ mH}$$

**Solution de l'exercice 5**

$$X_C = \frac{1}{2\pi N C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi N X_C} \quad C = \frac{1}{2\pi \times 2500 \times 42,5}$$

$$C = 1,5 \mu F$$

## CONCLUSION

Un chercheur met beaucoup de temps pour arriver à un résultat, à une loi Physique. Il doit prévoir tous les cas possibles puis les expérimenter. Il formule des hypothèses et les vérifie expérimentalement. Quelque fois l'expérience dure des années. Notre objectif principal dans notre travail a été d'amener l'élève à adopter la démarche d'un chercheur, à adopter cette attitude scientifique, cette démarche scientifique. L'apprenant peut expérimenter autant de fois qu'il veut avec des valeurs autres que les valeurs suggérées dans les protocoles. Cela permet de découvrir les limites du filtre dans la bande acoustique et de créer lui-même un filtre chez lui, ce qui renforce sa connaissance.

Il est vrai que la simulation ne remplace pas l'expérience réelle ni sur le plan physique ni sur le plan psychologique de l'élève. Cependant, à défaut de matériels comme c'est le cas dans la plupart des lycées malgaches, elle peut apporter une aide précieuse au professeur et surtout à l'élève lors de son apprentissage. Les simulations/animations sur ordinateur des phénomènes physiques et les Travaux Pratiques virtuels peuvent être mis à profit pour atteindre les objectifs de l'enseignement de la physique. On peut les exploiter pour développer chez l'élève l'esprit scientifique, le sens d'observation, le sens critique, l'esprit d'analyse d'autant plus qu'actuellement les élèves montrent un engouement certain pour le travail sur ordinateur.

Il est évident que ce didacticiel, en tant que programme, peut être en tout moment amélioré suivant les progrès dans le domaine de l'informatique, des nouvelles technologies et des Sciences Physiques mais une question fondamentale se pose : avons-nous atteint notre objectif principal ? Seule l'expérimentation de ce logiciel auprès des élèves des lycées peut nous aider à répondre à cette question.

## Bibliographie

- Adrianarimalala, R. (1987). *Elaboration de travaux pratique de physique*.
- Allay, L., Dubos, J., Lafargue, & Le Goff, R. (1987). *Physique Appliquée: Electricité . Electronique*. Paris: Nathan.
- Arnal, R. (1970). *Signaux et circuits*. Dunod.
- Barra, R. (1989). *Mathématiques Terminale D*. Paris: Nathan.
- Bessonov, L. (1968). *Cours d'électrotechnique*. Moscou.
- Calvert, C. (1996). *Delphi2 secrets d'experts*. Paris: 19, rue Michel Le Comte 75003.
- Cessac, J. (1986). *Physique terminale D*. Paris: 18, rue Monsieur-le-prince: Fernand Nathan.
- Davide, L. (1996). *OP Amps: Design, Application and troubleshooting*. USA: TERRELL.
- Edward, M. (1973). *électricité et magnétisme volume 2*. Paris: 103, bd Saint-Michel.
- Fraude, H. (1970). *Cours d'électricité tome I*. Paris: 61, Boulevard Saint-Germain: EYROLLES.
- Kitaïgorodski, A. (1982). *La physique à la portée de tous*. Moscou.
- Kronig, R. (1962). *Précis de Physique Générale*. Dunod.
- Michael, T. (1994). *PC programmation système*. Normandie: micro application.
- Nelson, T. (1988). *Electronic systems*. M.W. BRIMICOMBE. London: W1P 9HE.
- Rahaboarimanana, L. (1987). *Elaboration de travaux pratique de physique*.
- Rakotomalala, R. (2008). *Etude sur microordinateur de la réponse d'un dipôle (RLC) série sous régime sinusoïdal forcé*.
- Razafindrakoto, R., & Raharijaona, J. (1998). *électronique digitale niveau I*. Tana.
- Resnick, R. (1979). *électricité et magnétisme*. Canada.
- Simon, Y. (1973). *Electricité (électrostatique et électrocinétique)*. Paris: 103, bd Saint-Michel : ARMAND COLIN.
- Yavorski, B., & Detlaf, A. (1975). *Aide-mémoire de physique*. Moscou: Mir.

## WEBOGRAPHIE

[http://WWW-istg.ujf\\_grenoble.fr](http://WWW-istg.ujf_grenoble.fr)

Stéphane-Tronic- <http://WWW.tronic.fr.st>

<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/courselec/filtres.pdf>

<http://static.brouchier.com/livre/node20.html>

<http://static.brouchier.com/livre/node21.html>

<http://WWW.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/lycom/Electro/Cours-Electro/magnetisme.htm>

<http://WWW.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/lycom/Electro/Cours-Electro/theoreme.htm>

<http://WWW.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/lycom/Electro/Cours-Electro/bode.htm>

<http://WWW.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/lycom/Electro/Cours-Electro/resistor.htm>

<http://WWW.n-vandewiele.com/TP9.pdf>

<http://WWW.elektronique.fr/cours/filtre/fitres.php#filtre1-01>

<http://WWW.cpge.eu/documents/coursPCSI/elec-chap4.pdf>

<http://WWW.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/charrier/tp/rlcf/index.html>

<http://WWW.bedwani.ch/electro/ch5/index.htm>

<http://WWW.canduro.free.fr/condos.htm>

<http://WWW.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Elec/Transitoire/Codensateurflash.htm#manip>

## Résumé

### « Simulation sur ordinateur des circuits RL et RC série en régime sinusoïdal forcé »

Ce travail est axé sur l'étude des circuits RL et RC série en régime sinusoïdal forcé.

Le thème d'étude est introduit par le biais d'une situation problème qui est axée sur l'analyse du son émis par un haut-parleur lorsque ce dernier est relié directement à une source sonore et lorsqu'un filtre passe-haut et un filtre passe-bas sont placés entre la source et l'haut-parleur. Cette situation problème débouche sur la formulation d'hypothèses qui feront l'objet de vérification expérimentale.

Au total huit expériences sont proposées dont quatre pour le circuit RL et quatre pour le circuit RC. Elles portent sur :

- la réponse d'un circuit RL/RC série à un son grave et aigu, le circuit étant raccordé sur un générateur de fréquence variable.
- l'évolution de l'amplitude de tension aux bornes de (du) la bobine/condensateur en fonction de l'amplitude du courant qui traverse le circuit, la fréquence étant maintenue constante
- l'évolution de l'amplitude du courant qui traverse le circuit RL/ RC en fonction de la fréquence
- le déphasage entre courant et tension en fonction de la fréquence.

**Mots clés** : animation, simulation, filtre passe-haut, filtre passe-bas, circuit RL série, circuit RC série, impédance, réactance capacitive, réactance inductive.

Directeur de mémoire : **Mr RASOLONDRAMANITRA Henri**  
**Maître de conférences**

Auteur : **RANAIVOSON Ando Harinala**

Adresse : **Lot VK 67 bis AI Morarano Ambatolava (Tana 101)**