

# *PHYSIQUE CHIMIE*

## *TERMINALE S*

### *Electromagnétisme*

Chapitre III : OSCILLATION ELECTRIQUE

LIBRE

Objectif d'apprentissage	Contenus
<p>L'apprenant doit être capable de (d') :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expliquer le principe de fonctionnement des postes émetteurs et récepteurs radio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etude d'un oscillateur électrique libre</li> <li>• Elaboration de l'équation différentielle d'un oscillateur électrique <math>(R, L, C)</math> et donner sa solution</li> <li>• Bilan énergétique d'un oscillateur électrique libre</li> </ul>

## Table des matières

I.	Etude d'un oscillateur électrique libre.....	4
1.	Les éléments électroniques de base :.....	4
2.	Oscillateur électrique libre non amorti et amorti : .....	7
3.	Poste émetteur et récepteur radio :.....	13
II.	Equation différentielle d'un oscillateur électrique libre .....	17
1.	Circuit LC :.....	17
2.	Circuit RLC :.....	18
III.	Bilan énergétique .....	20

# I. Etude d'un oscillateur électrique libre

## 1. Les éléments électroniques de base :

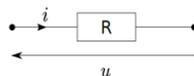
### Activité 1 :

**Situation :** Les oscillateurs électriques libres jouent un rôle fondamental dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne, de la communication sans fil à la technologie médicale. Mais quelles sont exactement les composantes de ces oscillateurs

Exploiter les documents suivants et répondre aux questions qui suivent

#### Document 1 : La résistance

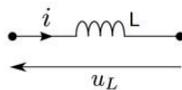
La résistance (ou conducteur ohmique, ou résistor ) est le plus simple des dipôles linéaires. Soumis à une tension  $u(t)$  et parcouru par un courant  $i(t)$  ce composant satisfait directement à la loi d'Ohm  $u(t)=Ri(t)$  avec R la résistance du dipôle, exprimés en Ohms  $\Omega$



#### Document 2 : La bobine

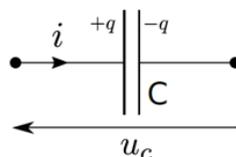
Une bobine (ou inductance) est constituée de spires obtenues par enroulement d'un fil métallique (cuivre). Au cœur de la bobine on peut avoir de l'air ou bien un matériau de perméabilité magnétique relative  $\mu_r$ . La tension  $u_L(t)$  aux bornes d'une bobine idéale est proportionnelle à la dérivée du courant  $i(t)$  qui traverse :

$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$  avec L l'inductance de la bobine, exprimée en Henry H.



#### Document 3 : Le condensateur

Un condensateur est constitué de deux armatures qui se font face et qui portent des charges opposées  $+q$  et  $-q$ . Pour un condensateur idéal, la charge  $q(t)$  est proportionnelle à la tension  $u_c(t)$  appliquée entre les armatures :  $q(t) = Cu_c(t)$  avec C la capacité du condensateur exprimée en Farads F.



## Questions :

a) Quels sont les trois (3) dipôles électroniques de base ?

- Résistance
- Condensateur
- Bobine
- Radiateur
- Transformateur

b) Quelle est l'expression de la tension aux bornes d'une résistance R ?

- $u_R = Ri$
- $u_R = qi$
- $u_R = Li$

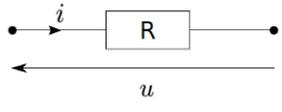
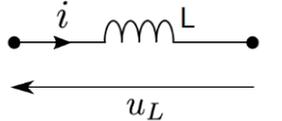
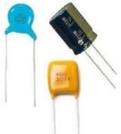
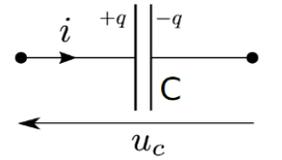
c) Quelle est l'expression de la tension aux bornes d'un condensateur de capacité C

- $u_{AB} = C \cdot q$
- $u_{AB} = \frac{q}{C}$
- $u_{AB} = C \frac{dq}{dt}$

d) Quelle est l'expression de la tension aux bornes d'une bobine L de résistance négligeable ?

- $u_L = L \frac{di}{dt} + r$
- $u_L = Li$
- $u_L = L \frac{di}{dt}$

## Résumé :

Composantes électroniques	Définition	Image	Symbole	Tension	Caractéristique
Résistance	La résistance (ou conducteur ohmique, ou résistor ) est le plus simple des dipôles linéaires.			$u(t) = Ri(t)$	Résistance $R$ exprimé en Ohm $\Omega$
Bobine	Une bobine (ou inductance) est constituée de spires obtenues par enroulement d'un fil métallique (cuivre)			$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$	Inductance $L$ exprimé en Henry H
Condensateur	Un condensateur est constitué de deux armatures qui se font face et qui portent des charges opposées $+q$ et $-q$ .			$u_C(t) = \frac{q(t)}{C}$	Capacité $C$ exprimé en Farads F

## 2. Oscillateur électrique libre non amorti et amorti :

### Documents :

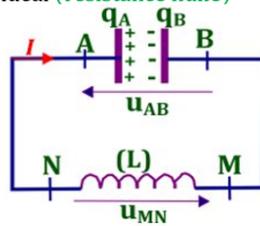
Analyser les documents suivants et répondre aux questions

#### Document 1 :

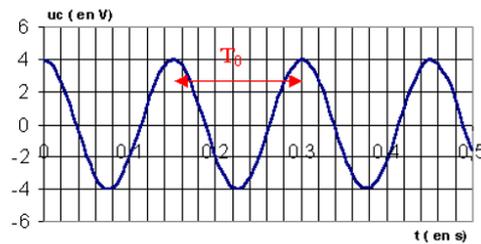
##### Oscillateur libre non amorti : circuit LC

Un condensateur chargé de capacité  $C$ , de charge initiale  $q_0$ , est monté aux bornes d'une bobine d'inductance  $L$ , de **résistance négligeable**. Le condensateur se décharge dans la bobine. Un circuit  $(L, C)$  est un circuit idéal (**résistance nulle**)

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad u_{AB} = \frac{q}{C}$$



Les oscillations entretenues sont sinusoïdales de période  $T$



#### Document 2 :

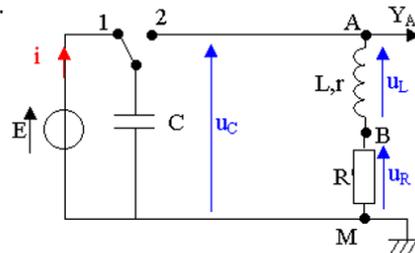
##### Oscillateur libre amorti : circuit RLC

On place l'interrupteur sur la position 1, le condensateur se charge, puis on bascule l'interrupteur sur la position 2.

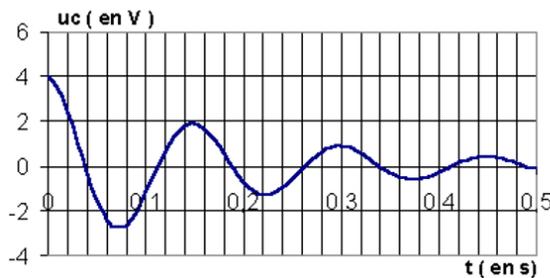
$$u_L = ri + L \frac{di}{dt}$$

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

$$u_R = Ri$$

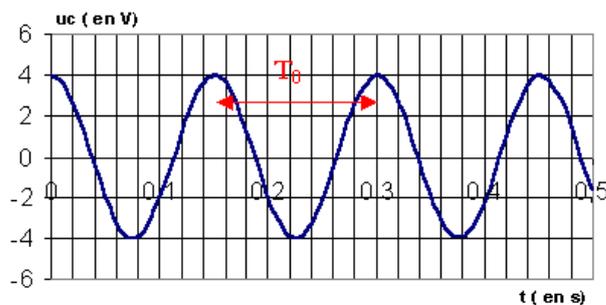
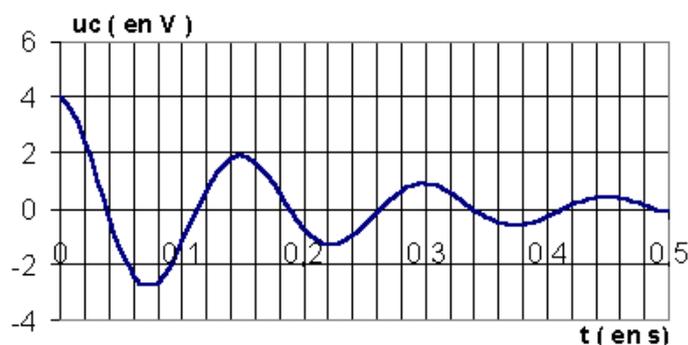


La tension  $u_C$  subit des oscillations libres amorties dont la valeur maximale décroît et intervient à intervalles de temps égaux



## Questions :

- Quels composants sont généralement utilisés dans un oscillateur électrique libre non amorti
  - Résistance et condensateur.
  - Condensateur et diode.
  - Inducteur et résistance.
  - Inducteur et condensateur.**
- Quelle est l'expression de la tension  $u_L$  aux bornes d'une bobine dans un oscillateur électrique libre non amorti?
  - $u_L = L \frac{di}{dt} + r$**
  - $u_L = Li$
  - $u_L = L \frac{di}{dt}$
- Quelle est l'expression de la tension  $u_{AB}$  aux bornes d'un condensateur de capacité C dans un oscillateur électrique libre non amorti ?
  - $u_{AB} = \frac{q}{C}$**
  - $u_{AB} = C \cdot q$
  - $u_{AB} = C \frac{dq}{dt}$
- Pour un oscillateur électrique libre non amorti, la courbe de variation de la tension en fonction du temps est



- Quel est le circuit électrique utilisé comme oscillateur électrique libre amorti ?
  - Circuit RC (résistance-condensateur).

- b) Circuit RL (résistance-bobine).
- c) Circuit LC (inducteur-condensateur).
- d) Circuit RLC (résistance-bobine-condensateur).

6. Quelle est l'expression de  $u_L$  pour le circuit RLC?

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

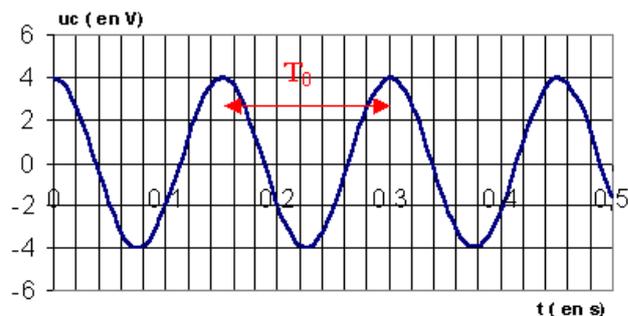
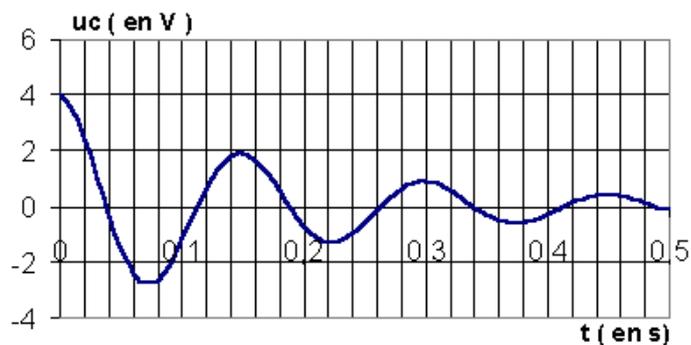
7. Quelle est l'expression de  $u_{AB}$  pour le circuit RLC ?

- $u_{AB} = \frac{q}{C}$
- $u_{AB} = C \cdot q$
- $u_{AB} = C \frac{dq}{dt}$

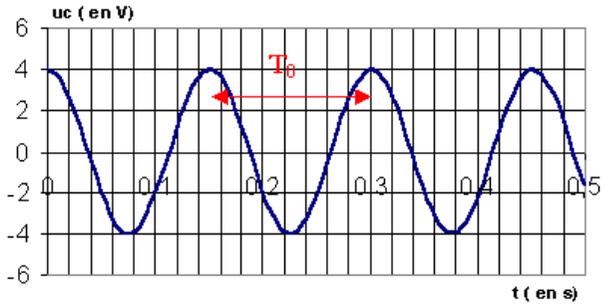
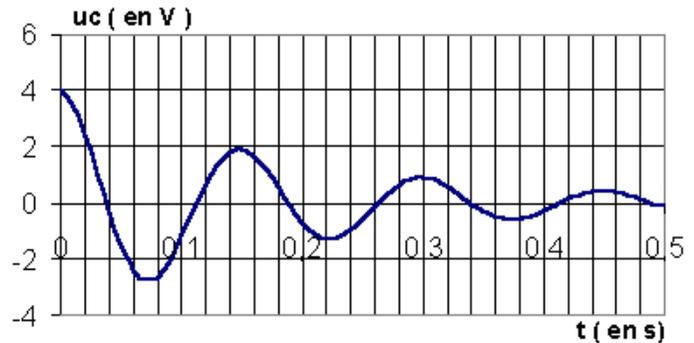
8. Quelle est l'expression de  $u_R$  pour le circuit RLC ?

- $u_R = Ri$
- $u_R = qi$
- $u_R = Li$

9. Pour un oscillateur électrique libre amorti, la courbe de variation de la tension en fonction du temps est



## Résumé :

Oscillation électrique	Circuit	Tension aux bornes de la résistance R	Tension aux bornes de la condensateur C	Tension aux bornes de la bobine L	Courbe de variation de la tension dans le circuit
Oscillation électrique libre non amortie	LC	$U_R = 0$	$U_C = \frac{q}{c}$	$U_L = L \frac{di}{dt}$	
Oscillation électrique libre amortie	RLC	$U_R = Ri$	$U_C = \frac{q}{c}$	$U_L = ri + L \frac{di}{dt}$	

# Applications

## Application 01 :

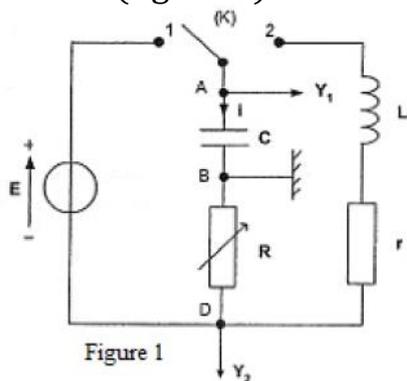
Classez les formules et termes suivants dans le tableau ci-dessous, en les attribuant aux catégories d'oscillations amorties ou non amorties : Circuit LC, circuit RLC,  $u_L = L \frac{di}{dt}$ ,  $u_R = Ri$ ,  $u_{AB} = \frac{q}{C}$ ,  $u_L = ri + L \frac{di}{dt}$ ,  $u_R = 0$

Oscillations amorties	Oscillations non amorties

Oscillations amorties	Oscillations non amorties
$u_{AB} = \frac{q}{C}$	$u_{AB} = \frac{q}{C}$
$u_R = Ri$	$u_R = 0$
circuit RLC	Circuit LC
$u_L = ri + L \frac{di}{dt}$	$u_L = L \frac{di}{dt}$

## Application 02 :

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève réalise le circuit décrit ci-dessous (figure 1).



Ce circuit est constitué des éléments suivants : un générateur délivrant une tension continue constante de valeur  $E=4.0V$  ; une résistance  $R$  réglable ; un condensateur de capacité  $C=2.0\mu F$  ; une bobine d'inductance  $L$  et de résistance  $r$ . Un commutateur  $(K)$  permet de relier le dipôle  $(RC)$  soit au générateur, soit à la bobine.

À l'instant de date  $t=0s$ , le condensateur est déchargé et on bascule le commutateur en position 1.

1. Représenter, sur la figure 1, par des flèches : la tension  $u_{DB}(t)$  aux bornes de la résistance
2. Représenter, sur la figure 1, par des flèches la tension  $u_{AB}(t)$  aux bornes du condensateur.

**Solution :**

- 1- Représentation de  $u_{DB}(t)$  et de  $u_{AB}(t)$

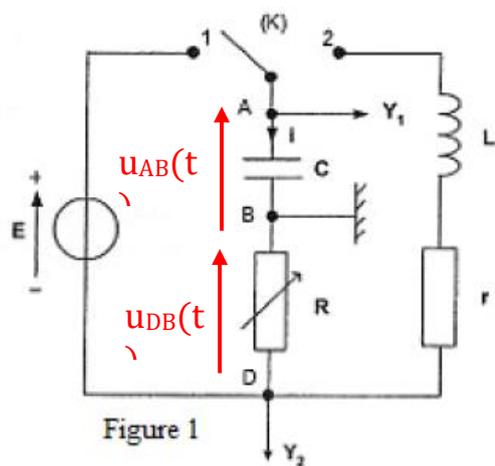


Figure 1

### 3. Poste émetteur et récepteur radio :

Documents :

Analyser les documents suivants et répondre aux questions

#### Document 1 : Circuit d'accord d'un récepteur radio

Les postes récepteurs des émissions radiophoniques comportent un circuit d'accord constitué d'une bobine et d'un condensateur de capacité variable. Ce circuit

permet de sélectionner l'onde qui porte

les paroles et la musique diffusées par

l'émetteur choisi. Le circuit d'accord

est le siège d'oscillations électriques

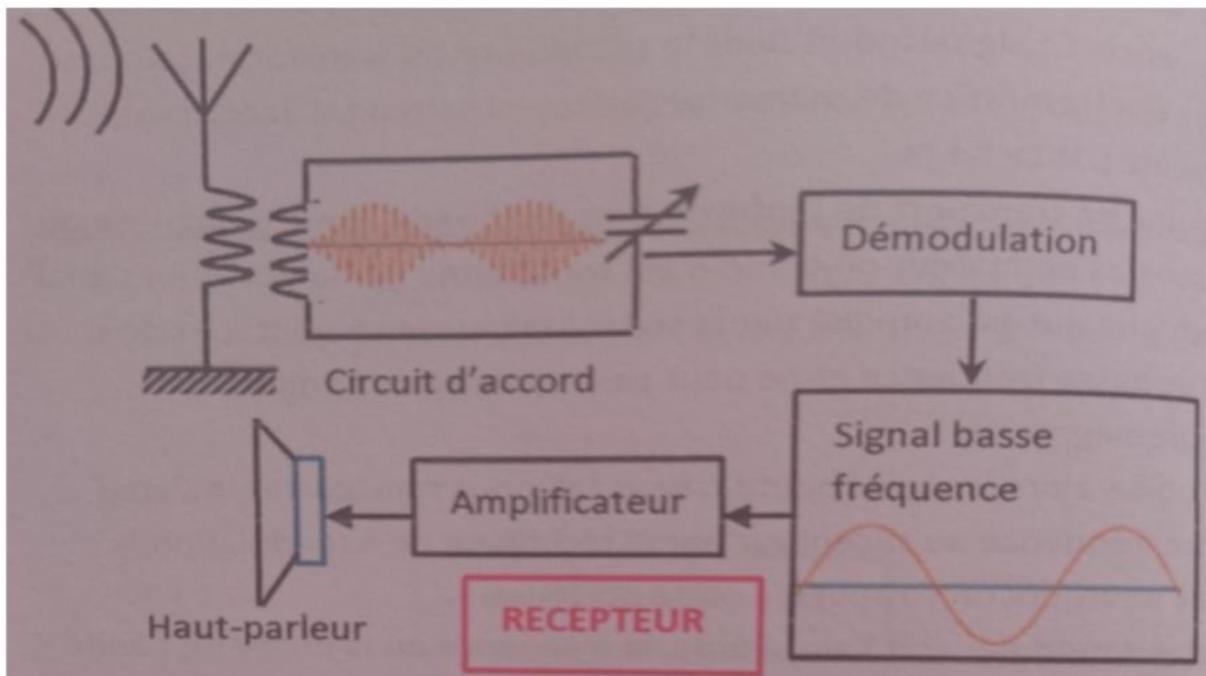
qui sont traitées par un montage

électronique. Paroles et musique

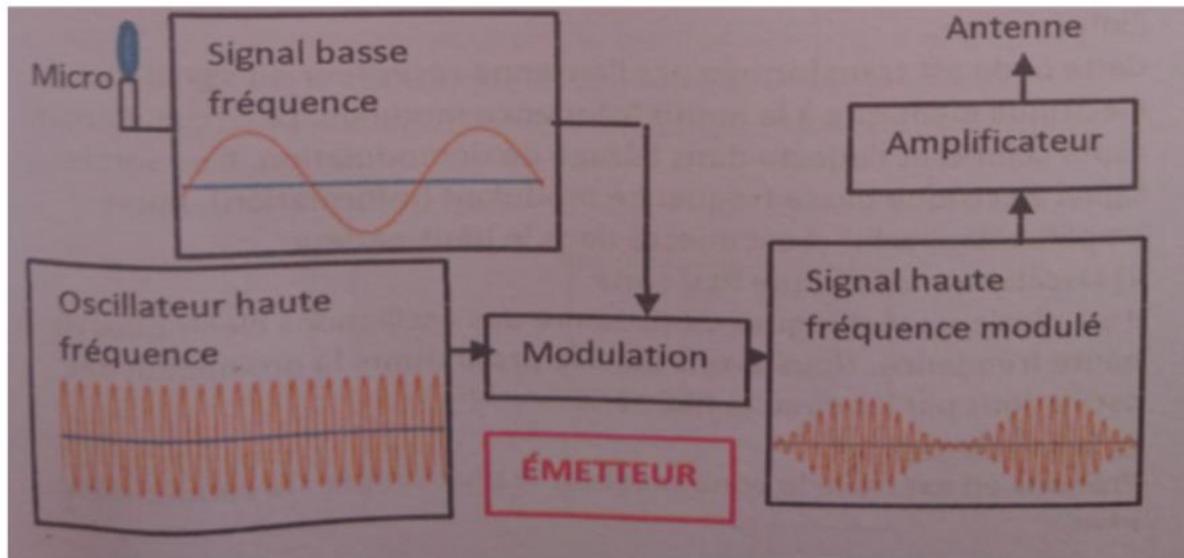
sont ensuite restituées par les haut-parleurs.



#### Document 2 : Schémas de principe d'un récepteur

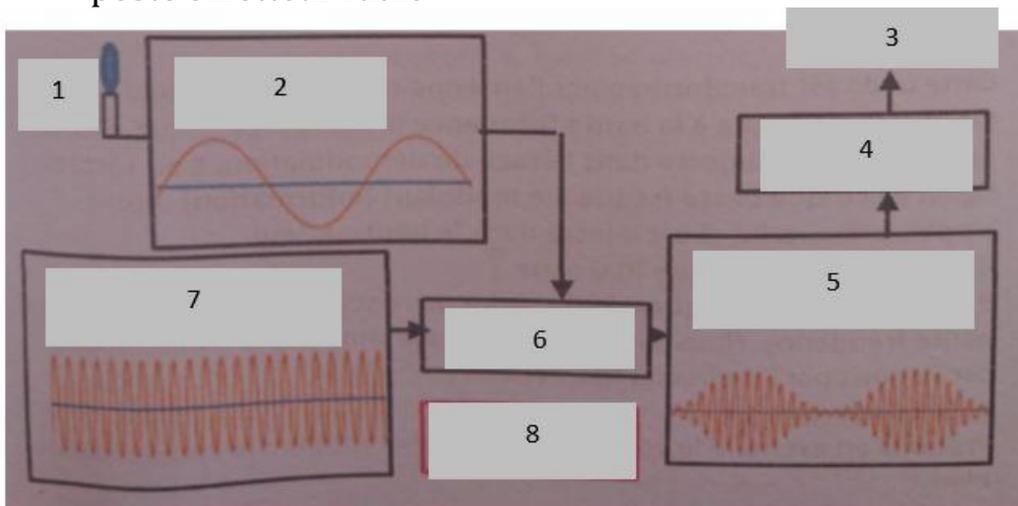


### Document 3 : Schémas de principe d'un émetteur



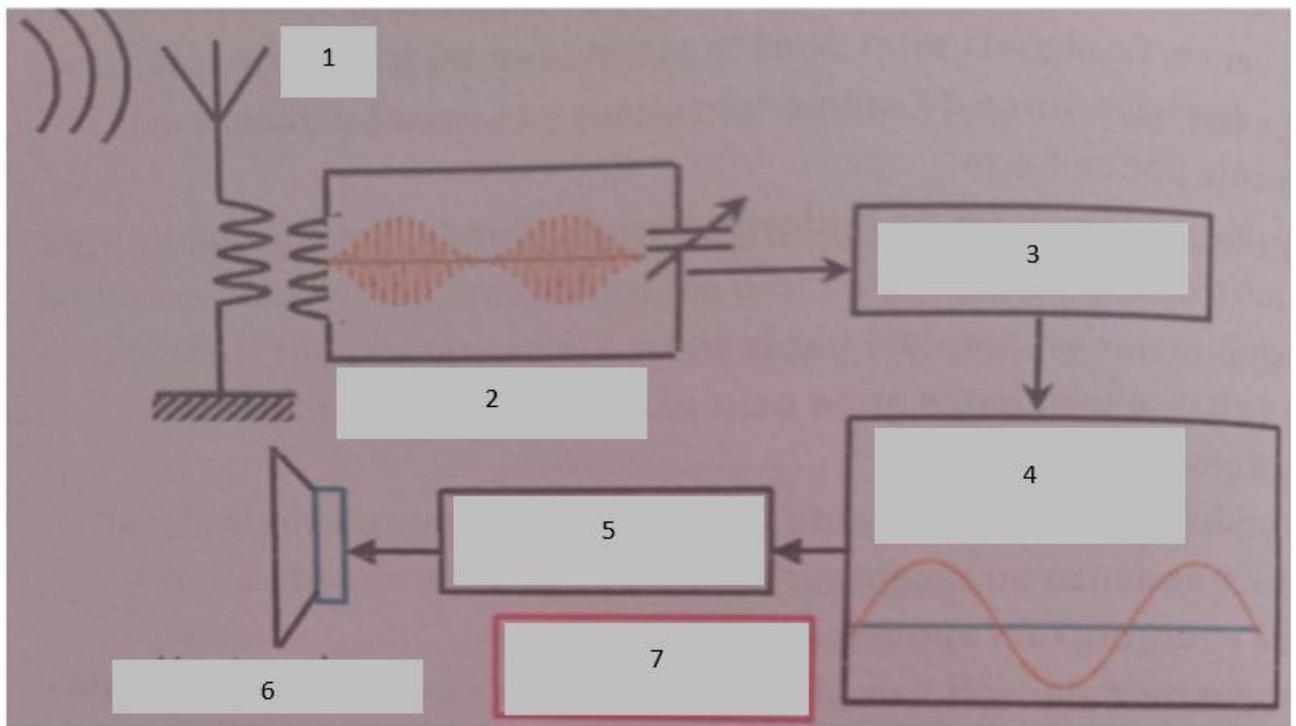
#### Questions :

- Associer chaque numéro au nom correspondant pour le schéma d'un poste émetteur radio :



1	Micro
2	Signal basse fréquence
3	Antenne
4	Amplificateur
5	Signal haute fréquence modulé
6	Modulation
7	Oscillateur haute fréquence
8	Emetteur

- Associer chaque numéro au nom correspondant pour le schéma d'un poste récepteur radio :



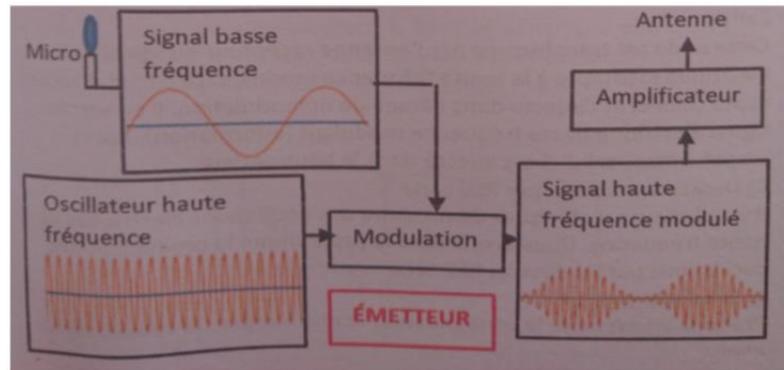
1	Antenne
2	Circuit d'accord
3	Démodulation
4	Signal basse fréquence
5	Amplificateur
6	Hautparleur
7	Récepteur

3. Pour un récepteur radio, dans quel élément est le siège d'une oscillation électrique libre
  - Circuit d'accord
  - Démodulation
  - Amplificateur
4. Quels sont les éléments électroniques qui constituent un circuit d'accord ?
  - Bobine
  - Condensateur
  - Fil électrique
  - Transformateur

## POSTE EMETTEUR ET RECEPTEUR RADIO

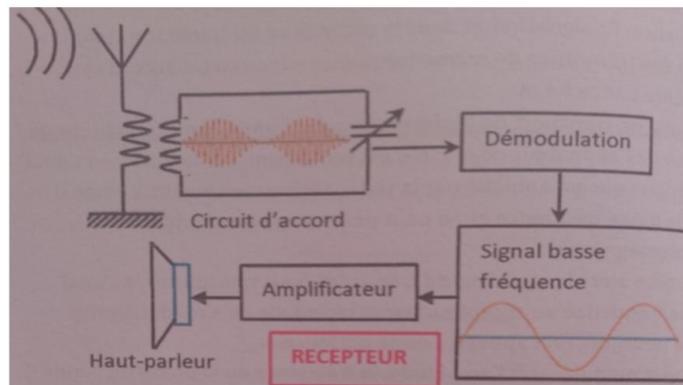
### 1. Principe de fonctionnement d'un émetteur radio :

Le son de l'animateur de la radio est transformé par le micro en signal électrique qui est amplifié par la suite. Ce signal est de basse fréquence et il ne peut pas être rayonné de l'onde électromagnétique. Pour transporter le signal de basse fréquence au récepteur, on utilise la technique de modulation.



### 2. Principe de fonctionnement d'un récepteur radio :

Le signal haut fréquence modulé par le signal bas fréquence rayonne une onde électromagnétique porteuse de l'information. Cette onde est transformée par l'antenne récepteur en signale électrique identique à la haute fréquence modulée. Le circuit d'accord capte celui-ci et l'injecte dans l'étage de modulation. Il sort le signal électrique de basse fréquence modulant. Après amplification, celui-ci injecté dans le haut-parleur.



### 3. Circuit d'accord d'un récepteur radio :

Les postes récepteurs des émissions radiophoniques comportent un circuit d'accord constitué d'une bobine et d'un condensateur de capacité variable. Ce circuit permet de sélectionner l'onde qui porte les paroles et la musique diffusées par l'émetteur choisi. Le circuit d'accord est le siège d'oscillations électriques qui sont traitées par un montage électronique. Paroles et musique sont ensuite restituées par les haut-parleurs.

## II. Equation différentielle d'un oscillateur électrique libre

**Situation :** quelles sont les étapes à suivre pour établir l'équation différentielle d'un oscillateur libre ?

Pour répondre à cette question, visionner la vidéo suivante

Vidéo <https://youtu.be/opRMDqkaBTg>

### 1. Circuit LC :

**Questions :**

Quelle est l'équation différentielle d'un circuit LC ?

- a)  $\ddot{q} + \frac{Lq}{C} = 0$
- b)  $\ddot{q} + \frac{q}{LC} = 0$
- c)  $\ddot{q} + LCq = 0$

Quelle est la solution de l'équation différentielle d'un circuit LC ?

- a)  $q = Q_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$
- b)  $q = U_m \sin(\omega_0 t)$
- c)  $q = Q_m \sin(\omega_0 t + \pi)$

Qu'appelle-t-on  $Q_m$  ?

- a) Charge maximale du condensateur (ou amplitude)
- b) Tension maximale de la bobine
- c) Intensité maximale du circuit

Quelle est l'expression de la Pulsation propre  $\omega_0$  ?

- a)  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- b)  $\omega_0 = \sqrt{LC}$
- c)  $\omega_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

Quelle est l'expression de la Période propre  $T_0$  ?

- a)  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$
- b)  $T_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- c)  $T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{LC}}$

Quelle est l'expression de la fréquence propre  $f_0$  ?

a)  $f_o = \frac{1}{T_o}$

b)  $f_o = T_o$

c)  $f_o = \frac{1}{w_o}$

Quelle est l'expression de la tension instantanée u ?

a)  $u = U_m \sin (\omega_0 t + \varphi)$

b)  $u = U_m \sin (\omega_0 t)$

c)  $u = U_m \cos (\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$

Quelle est l'expression de l'intensité instantanée i ?

a)  $i = I_m \sin (\omega_0 t)$

b)  $i = I_m \cos (\omega_0 t + \varphi)$

c)  $i = I_m \cos (\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$

## 2. Circuit RLC :

Quelle est l'équation différentielle d'un circuit RLC ?

a)  $\ddot{q} + \frac{Lq}{c} + \dot{q} = 0$

b)  $\ddot{q} + \dot{q} + \frac{q}{CLR'} = 0$

c)  $\ddot{q} + \dot{q} + LCq = 0$

Cours :

### Équation différentielle d'un oscillateur électrique

#### Circuit LC :

Loi d'additivité des tensions :

$$u_L + u_{AB} = 0$$

$$L \frac{di}{dt} + \frac{q}{c} = 0$$

$$i = \frac{dq}{dt} = \dot{q} \Leftrightarrow \frac{di}{dt} = \ddot{q}$$

$$L \ddot{q} + \frac{q}{c} = 0$$

$$\ddot{q} + \frac{q}{LC} = 0 \quad \text{équation différentielle de second ordre de solution :}$$

$$q(t) = Q_m \sin (\omega_0 t + \varphi)$$

$Q_m$  : charge maximale du condensateur (ou amplitude)

$q(t)$  : charge instantanée

**Pulsation propre  $\omega_0$  :**  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

C : capacité du condensateur (en F)

L : inductance de la bobine (en H)

**Période propre  $T_0$  :**  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$

**Fréquence propre  $f_0$  :**  $f_0 = \frac{1}{T_0}$

**Tension instantanée  $u(t)$  :**  $u(t) = \frac{q}{C} = \frac{Q_m}{C} \sin(\omega_0 t + \varphi)$

$$u(t) = U_m \sin(\omega_0 t + \varphi) \text{ avec } U_m = \frac{Q_m}{C}$$

$U_m$  : tension maximale du condensateur

- **Intensité instantanée  $i$  :**

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = \omega_0 Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

**$i(t) = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  avec  $I_m = \omega_0 Q_m$**

$I_m$  : intensité maximale

Circuit RLC :

La loi des tensions conduit à

$$u_L + u_R + u_{AB} = 0$$

$$= ri + L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{q}{C} = 0$$

$$L \frac{di}{dt} + ri + Ri + \frac{q}{C} = 0$$

$$L \ddot{q} + R' \dot{q} + \frac{q}{C} = 0 \text{ avec } R' = R + r$$

$$\ddot{q} + \dot{q} + \frac{q}{CLR'} = 0$$

## III. Bilan énergétique

**Situation :** comment calculer l'énergie stockée et dissipée, essentiel pour comprendre le comportement et l'optimisation des circuits ?

Pour répondre à cette question, vous allez visionner au moins deux fois la vidéo suivante et prendre note si c'est nécessaire.

**Vidéo :** <https://youtu.be/oMXHiLvOFtc>

**Questions :**

Quelle est l'expression de l'énergie électrique dans le condensateur ?

a)  $E_c = 2 C.u_c^2$

**b)  $E_c = \frac{1}{2} C.u_c^2$**

c)  $E_c = C.u_c^2$

Quelle est l'expression de l'énergie magnétique dans la bobine ?

a)  $E_c = 2 C.i^2$

**b)  $E_c = \frac{1}{2} L.i^2$**

c)  $E_c = C.L^2$

Quelle est l'expression de l'énergie électromagnétique ?

**a)  $E = \frac{1}{2} L.i^2 + \frac{1}{2} C.u_c^2$**

b)  $E_c = C.u_c^2 + L i^2$

c)  $E_c = 2C.u_c^2 + \frac{1}{2} L.i^2$

## BILAN ENERGETIQUE

Initialement, toute l'énergie est sous forme électrique dans le condensateur. Quand le condensateur se décharge, il transfère son énergie à la bobine qui la stocke sous forme magnétique. La bobine retransmet cette énergie au condensateur et ainsi de suite.

a) **Energie électrique dans le condensateur :**

$$E_e = \frac{1}{2} C.u_c^2 = \frac{1}{2} q.u$$

b) **Energie magnétique dans la bobine :**

$$E_m = \frac{1}{2} L.i^2$$

c) **Energie électromagnétique dans le circuit (LC) :**

$$E = E_e + E_m$$

$$E = \frac{1}{2} L.i^2 + \frac{1}{2} C.u_c^2 = \text{cte}$$

L'énergie **électromagnétique** est conservée, elle est égale à l'énergie électrique maximale dans le condensateur si l'énergie magnétique dans la bobine est nulle et inversement.

**En présence de résistance R l'énergie électromagnétique stockée dans C et L diminue car elle est dissipée en chaleur dans la résistance par effet Joule**

### Applications :

1- Un condensateur de capacité  $C = 33 \text{ m F}$  est chargé avec un générateur de tension réglé sur  $U = 10 \text{ V}$ . Calculer la charge  $Q_0$  et l'énergie  $E_0$  emmagasinée par ce condensateur.

2- Ce condensateur chargé est déconnecté du générateur puis relié aux bornes d'une bobine d'inductance  $L = 120 \text{ mH}$ . Dans cette question on suppose nulle la résistance du circuit. On observe ce qui se passe à l'aide d'un oscilloscope.

- Faire un schéma du montage. Dessiner qualitativement la figure observée sur l'écran de l'oscilloscope.
- Etablir l'équation différentielle vérifiée par la tension instantanée aux bornes du condensateur. On précisera les conventions.
- Le circuit constitué par la bobine et le condensateur portant la charge  $Q_0$  a été fermé à l'instant pris comme origine des temps  $t = 0$ . Déterminer l'expression de la charge instantanée du condensateur en fonction du temps et des grandeurs  $L$  et  $C$  des composants.
- Calculer les valeurs maximale de l'intensité du courant.

e- Calculer la période propre  $T_0$  des oscillations électriques.

## SOLUTION

### 1- Charge du condensateur

Calculons la charge du condensateur et l'énergie qu'il emmagasine.

$q_A = C \cdot U_{AB} = C \cdot U = 33 \cdot 10^{-6} \cdot 10$  soit :

$$q_A = Q_0 = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

L'énergie emmagasinée est :

$$E_0 = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} q_A U_{AB} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C}$$

$$E_0 = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \cdot 33 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 = 16,5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

$$E_0 = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

### 2- Oscillations électriques libres non amorties

#### a- Le montage

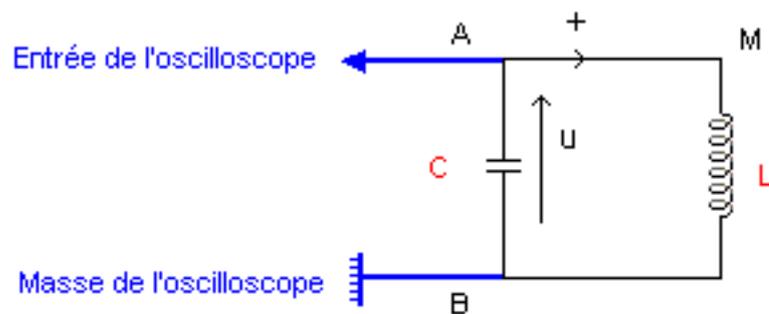
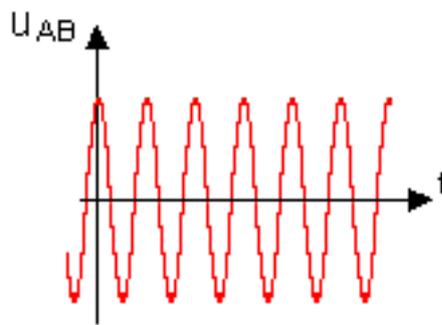


Figure observée sur l'écran



**b-** l'équation différentielle vérifiée par la tension instantanée  $u = u_{AB}$  aux bornes du condensateur.

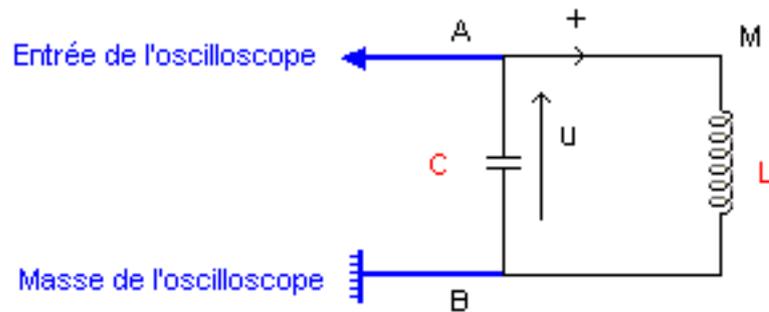


figure 2

La loi des tensions appliquée à la maille AMBA s'écrit :

$$u_{AM} + u_{MB} + u_{BA} = 0$$

$$L \frac{di_{AM}}{dt} + 0 + \frac{q_B}{C} = 0$$

$$q_B = Cx_{u_{BA}} \text{ et } i = i_{AM} = i_{BA}$$

$$\frac{dq_B}{dt} = \dot{q}_B = C \frac{du_{BA}}{dt} = C \dot{u}_{BA}$$

$$\frac{di}{dt} = C \ddot{u}_{BA}$$

On obtient :

$$LC \ddot{u}_{BA} + u_{BA} = 0 \quad \frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{1}{LC} u = 0$$

**c-** Expression de la charge instantanée du condensateur.

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC} q = 0$$

Cette équation différentielle a pour solution :

$$q = q_A = Q_{\max} \cos(\omega_0 t + \phi)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

L'intensité du courant électrique s'écrit  $i = i_{BA} = -i_{AB} = -dq_A / dt = -dq / dt$

$$i = -\omega_0 Q_{\max} \sin(\omega_0 t + \phi)$$

A l'instant  $t = 0$  s on a.  $q = Q_0 = 3,3 \cdot 10^{-4}$  C et  $i = 0$  A.

$q = Q_0 \cos(\omega_0 t + 0)$  avec :

$$Q_0 = 3,3 \cdot 10^{-4}$$
 C

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{0,120 \times 33 \times 10^{-6}}} = 502,2 \text{ rad / s}$$

$$q = q_A = 33 \cdot 10^{-5} \cos(502,2 t)$$

**d-** Valeurs maximale de l'intensité du courant

$$I_{\max} = \omega_0 Q_0 = 502,2 \cdot 33 \cdot 10^{-5} = 0,166 \text{ A}$$

**e-** La période propre des oscillations est :

$$T_0 = 2\pi / \omega_0 = 0,0125 \text{ s}$$