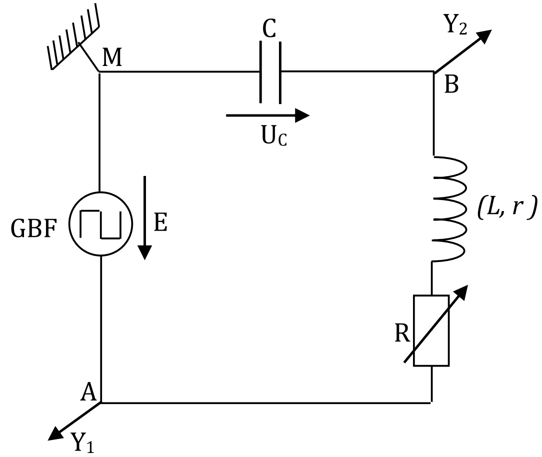
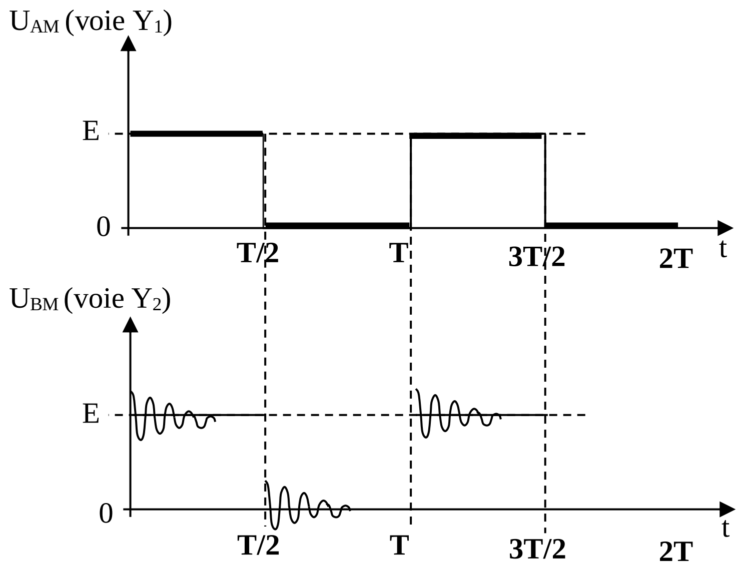
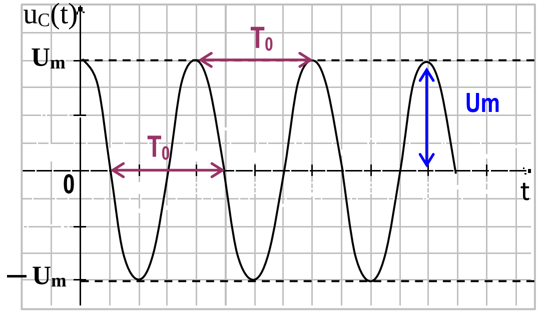
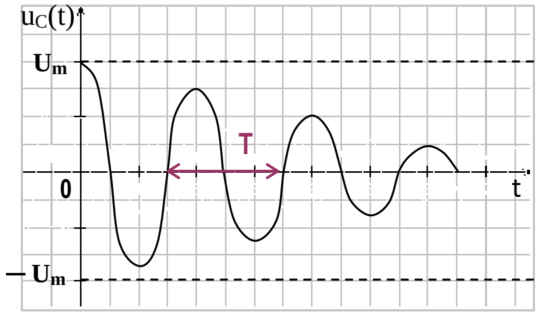
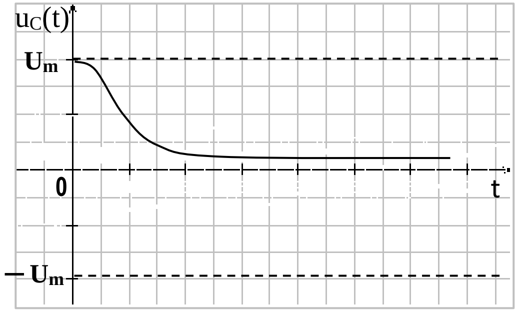
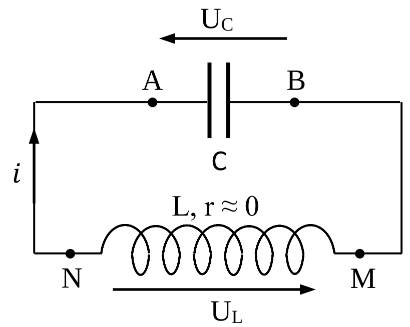
Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Présentation	Questions /réponses	Rappels/pré requis	Par leurs réponses, les élèves amènent le professeur à donner le titre de la leçon	**OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES LIBRES DANS UN CIRCUIT LC**
Développement	Questions –réponses	Administration de la situation d'apprentissage Lisez la situation. Quelles actions les élèves veulent mener ? **<u>Activité :</u>** Oscillateur électrique **<u>Activité :</u>** Charge et décharge d'un condensateur	Les élèves lisent la situation. Ils veulent : - définir un oscillateur électrique - établir l'équation différentielle d'un oscillateur électrique LC - faire ressortir l'analogie oscillateur mécanique-oscillateur électrique. Le professeur définit un oscillateur électrique	*En physique, il est possible de parler d'oscillateur lorsque l'on décrit un système qui évolue de part et d'autre d'un équilibre stable. Il est possible d'observer plusieurs types d'oscillateurs selon le fonctionnement et les effets de ceux-ci.* *Les oscillateurs les plus connus sont les oscillateurs mécaniques classiques comme le pendule ou la masse ressort mais aussi les oscillateurs électriques bien qu'on puisse trouver des oscillateurs en chimie et en mécanique quantique.* *Les différents types d'oscillateurs existants* • *Oscillateur mécaniques, tels que les oscillateurs de translation (piston dans un moteur, lame de scie sauteuse, membrane d'un haut-parleur) ou les oscillateurs de rotation (pendule simple, pendule de torsion, balançoire).* • *Oscillateurs chimiques, à l'échelle macroscopique (l'expérience de Belousov-Zhabotinsky, où la solution change de couleur toutes les 20 secondes) ou à l'échelle moléculaire (la molécule d'ammoniac " vibre " avec une fréquence qui ne dépend que de la température).* • *Oscillateurs biologiques, comme le cœur ou, à plus grande échelle, un écosystème.* • *Oscillateurs acoustiques, comme la membrane d'un haut-parleur ou la vibration de l'air.* • *Oscillateurs électriques, comme la tension alternative de le CIE.* **1. <u>Définition d'un oscillateur électrique</u>** Un oscillateur électrique est un système dont l'évolution est décrite par la variation périodique (ou pseudo périodique) d'une grandeur électrique. *Autrement dit, on peut associer à un oscillateur une grandeur physique (paramètre descriptif de l'oscillateur) qui est une fonction périodique du temps.* **2. <u>Charge et décharge d'un condensateur</u>** **2.1. <u>Expériences</u>** *On réalise le montage qui comprend en série, une bobine d'inductance L et de résistance interne r, un conducteur ohmique variable R et un condensateur de capacité C.*

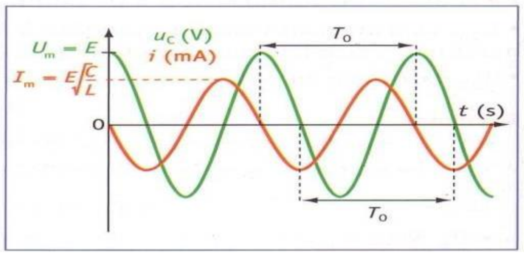
Développement (suite)	Expérimentation Observation Travail de groupe Questions-réponses	Soyez attentif et observez l'expérience. Donne la tension visualisée par la voie 1 Donne la tension visualisée par la voie 1	Les élèves observent attentivement l'expérience. La tension aux bornes du générateur La tension aux bornes du condensateur	 La voie Y_1 visualise la tension *(en créneau)* aux bornes du générateur *($U_{AM} = U = E$)* La voie Y_2 visualise la tension aux bornes du condensateur *($U_{BM} = U_C$)* $R_t = R + r$: résistance totale *(ou équivalente)* du circuit Lorsque le GBF délivre une tension U = E, *(le courant établit dans le circuit permet la charge du condensateur)* le condensateur se charge et lorsque cette tension s'annule (U = E = 0V), *(aucun courant ne circule dans le circuit ; le condensateur chargée se comporte comme un générateur et se décharge dans la bobine)* le condensateur se décharge dans la bobine *(en effet :* - *Lors de la charge, de l'énergie électrique est transférée du générateur au condensateur sous forme de déplacement d'électrons d'une armature à une autre. La tension U aux bornes du condensateur croit jusqu'à devenir égale à celle aux bornes du générateur. L'intensité i du courant décroit jusqu'à s'annuler.* - *Lors de la décharge le condensateur restitue l'énergie précédemment stockée sous forme de déplacement d'électrons. La tension U aux bornes du condensateur et la valeur de l'intensité i décroissent jusqu'à s'annuler.)* **2.2.<u>Visualisation</u>**

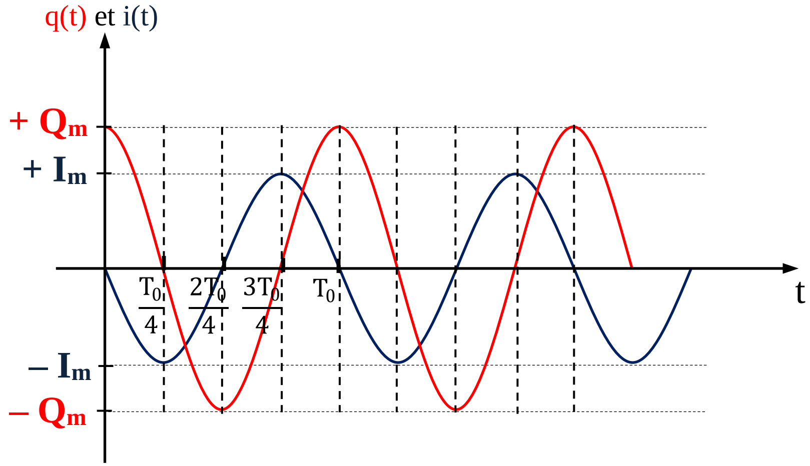
Développement (suite)	Questions-réponses	Qu'observez lorsque le GBF délivre une tension U = E ? Et la tension du GBF est nulle ? Interprétez ces observations	Le condensateur se charge Le condensateur se décharge Les élèves exécutent	 **2.3.** **<u>Interprétation</u>** *Étudions le mouvement sur une période de la tension délivrée par le générateur c'est-à-dire sur l'intervalle* $[0, T]$ - De à $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$, la tension aux bornes du générateur *(du circuit ou U_{AM})* est constante et égale à E *(c'est-à-dire à l'établissement du courant, le générateur délivre une tension U qui passe de 0 à E)*. Le condensateur se charge progressivement. Sa tension U_C *(=* $U_{BM} = \frac{q}{C}$*)* atteint la valeur E après quelques oscillations d'amplitudes décroissantes. *(càd U_C atteint la valeur E mais en oscillant autour de cette valeur avec des amplitudes décroissantes)* - De $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$ à $\mathbf{T}$, la tension aux bornes du générateur est nulle *(U_{AM} = 0)*. Le condensateur se décharge. Sa tension U_C s'annule après quelques oscillations d'amplitudes décroissantes. *(càd U_C atteint la valeur 0 mais en oscillant autour de cette valeur avec des amplitudes décroissantes)* ***<u>N.B.</u>* :** *Ces oscillations sont dites libres car elles persistent même lorsque la tension du générateur est nulle càd elles se font sans apport extérieur d'énergie. Aussi car leur fréquence est indépendante de celle du générateur*

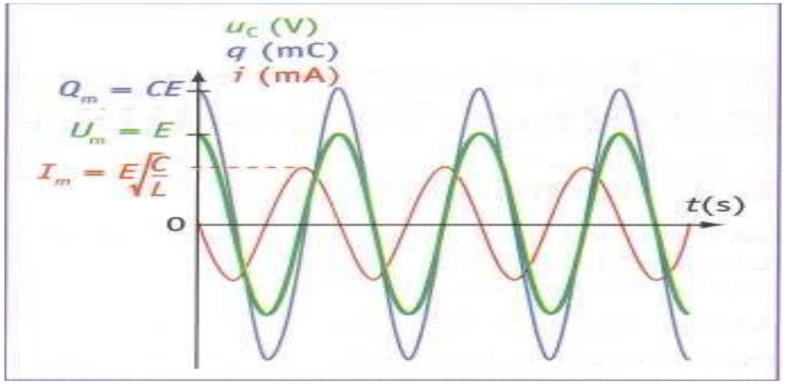
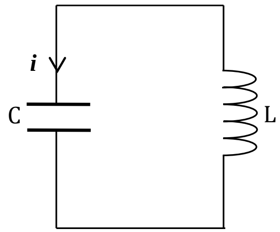
Développement (suite)	Questions-réponses	Le professeur donne les différents régimes de décharge du condensateur		**2.4. <u>Les différents régimes de décharge du condensateur</u>** Etudions l'influence de la résistance totale ($R_t = R + r$) du circuit sur les oscillations de la charge et de la décharge du condensateur **2.4.1. <u>Cas où la résistance totale est nulle</u> ($\boldsymbol{R_t = 0}$)**  Pour $\boldsymbol{R_t = 0}$, on obtient des oscillations sinusoïdales (non amorties) *(car d'amplitudes constantes)* et de période $\boldsymbol{T_0}$ Le régime *(la décharge)* est alors dit **périodique** *(la décharge du condensateur est oscillatoire et non amortie)* **2.4.2. <u>Cas où la résistance totale n'est pas nulle</u> ($\boldsymbol{R_t \neq 0}$)** ♦ Pour $\boldsymbol{R_t \neq 0}$ mais faible (petite)  On obtient des oscillations dont l'amplitude décroit au cours du temps. Elles sont dites amorties et de pseudo-période **T** *(temps qui s'écoule entre deux valeurs maximales successives, elle est constante. En effet, pseudo-période et non période car le phénomène n'est pas réellement périodique (pour ça il faudrait que les amplitudes des oscillations soient constantes))*

Développement (suite)	Questions-réponses	Tirez-en une conclusion	La décharge d'un condensateur dans une bobine donne lieu à des oscillations amorties lorsque la résistance du circuit n'est pas nulle puis à des oscillations sinusoïdales lorsque la résistance du circuit est négligeable	Le régime *(la décharge)* est alors dit **pseudo-périodique** *(la décharge du condensateur est oscillatoire et amortie)* ♦ Pour $\boldsymbol{R_t \neq 0}$ mais grande  Lorsque $\boldsymbol{R_t}$ est trop grande, il n'y a plus d'oscillations. Le régime *(la décharge)* est alors dit **apériodique** *(la décharge du condensateur se fait sans oscillations càd la tension U_C tend vers 0 sans osciller. Ce régime permet un retour plus rapide d'un système à l'équilibre)* **<u>Remarque :</u>** - Il existe une valeur de R_t pour laquelle on passe du régime pseudo-périodique au régime apériodique. *(cette valeur délimite donc ces deux régimes de fonctionnement et elle vaut $R_t = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$)* Cette valeur de résistance est nommée résistance critique et le régime correspondant est appelé **régime critique.** *(c'est un régime transitoire entre les régimes périodiques et apériodiques)* - L'existence des différents régimes est liée à la valeur de la résistance totale du circuit. Á cette résistance correspond une dissipation d'énergie par effet joule *(qui est à l'origine de l'amortissement des oscillations ; les amplitudes diminuent donc. Tout comme les forces de frottement dissipent l'énergie d'une oscillation mécanique)* **2.5.<u>Conclusion</u>** La décharge d'un condensateur dans une bobine donne lieu à : – des oscillations amorties *(ou à un régime apériodique)(de la tension aux bornes du condensateur)* lorsque la résistance du circuit n'est pas nulle. – des oscillations sinusoïdales *(non amorties) (de la tension aux bornes du condensateur)* lorsque la résistance du circuit est négligeable *(nulle)* *(c'est ce cas que nous étudierons dans ce chapitre)*

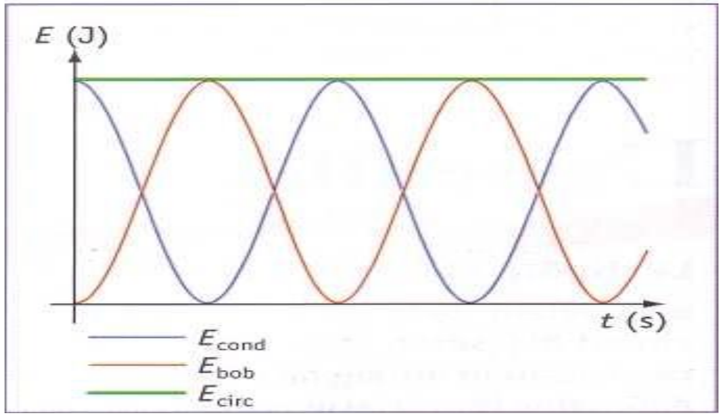
Développement (suite)		**Activité :** Etude théorique d'un circuit LC		**3. Etude théorique d'un circuit LC** **3.1. Equation différentielle du circuit LC** *Soit un oscillateur électrique constitué par un circuit série comprenant un condensateur de capacité C préalablement chargé (à l'aide d'un générateur de f.é.m. E) et une bobine d'inductance L et de résistance interne négligeable ($r = 0$)*
	Travail individuel	Donnez les expressions des tensions aux bornes du condensateur et de la bobine	Les élèves exécutent	 $U_C = U_{AB}$ *et* $U_L = U_{MN}$ *(r étant négligeable, on peut simplement mettre L sur la bobine)* Aux bornes du condensateur : $U_C = U_{MN} = \frac{q}{C}$ Aux bornes de la bobine : $U_L = U_{AB} = L\frac{di}{dt}$ *(car r = 0 sinon* $U_L = L\frac{di}{dt} + ri$*)*
	Travail de groupe	Donnez la loi des mailles	Les élèves exécutent	Loi des mailles *(selon le sens positif choisi)* : $\mathrm{U_L} + \mathrm{U_C} = 0$ $\Rightarrow\ L\frac{di}{dt} + \frac{q}{C} = 0$ or $i = \frac{dq}{dt}$ $\Rightarrow$ $\mathrm{U_L} = L\frac{d}{dt}\left(\frac{dq}{dt}\right) = L\frac{d^2q}{dt^2} = L\ddot{q}$ Soit $L\ddot{q} + \frac{q}{C} = 0$
	Questions-réponses	Déduisez-en l'équation différentielle du circuit LC	Les élèves exécutent	$\Rightarrow$ $\boxed{\mathbf{\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0}}$ C'est l'équation différentielle de décharge du condensateur dans la bobine *(c'est l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique. Cette équation est de la forme* $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ *)* ***N.B.*** *: on peut aussi avoir :* $U_C = \frac{q}{C} \longrightarrow q = CU_C$ $\Rightarrow \dot{q} = C\dot{U}_C \ \longrightarrow\ \ddot{q} = C\ddot{U}_C$ *alors* $C\ddot{U}_C + \frac{1}{LC}CU_C = 0$ *soit :* $\ddot{U}_C + \frac{1}{LC}U_C = 0$
		Le professeur donne une solution de l'équation différentielle puis donne la signification des		**3.2. Solution de l'équation différentielle** La solution de l'équation différentielle est de la forme : $\mathbf{q(t) = Q_m cos(\omega_0 t + \varphi)}$ (ou $\mathbf{q(t) = Q_m sin(\omega_0 t + \varphi)}$) Avec : $\mathbf{q(t)}$: charge à l'instant t

Développement (suite)	Travail individuel Travail de groupe Questions-réponses	grandeurs physiques (Q_m, ω_O et φ). Le professeur donne les expressions des grandeurs physiques Q_m, ω_O, T_o et N_o.		$\mathbf{Q_m}$: Amplitude de charge ou charge maximale (en C) $\boldsymbol{\varphi}$ **:** phase à l'origine des dates (càd à t = 0) (en rad) $\boldsymbol{\omega_0 t + \varphi}$ **:** phase à l'instant t (en rad) $\boldsymbol{\omega_0}$ **:** pulsation propre du circuit (en rad/s) **3.3. <u>Pulsation propre, période propre et fréquence propre</u>** *(Si $q(t) = Q_m cos(\omega_0 t + \varphi)$ est solution de l'équation différentielle, alors elle vérifie cette équation. Or $\dot{q} = -Q_m\omega_0\ sin(\omega_0 t + \varphi)$ et* *et $\ddot{q} = -Q_m\omega_0^2\ cos(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0^2 q(t) \Rightarrow \ddot{q} + \omega_0^2 q = 0$* *donc par identification, $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ d'où $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$)* *ou bien : $\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$ équivaut à $-\ \omega_0^2 Q_m cos(\omega_0 t+\varphi) + \frac{1}{LC} Q_m cos(\omega_0 t+\varphi) = 0$* *$-\ \omega_0^2 Q_m cos(\omega_0 t+\varphi) + \frac{1}{LC} Q_m cos(\omega_0 t+\varphi) = 0$* *$Q_m cos(\omega_0 t+\varphi)\left[-\ \omega_0^2 + \frac{1}{LC}\right] = 0$ d'où $\boldsymbol{\omega_0} = \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{LC}}}$)* ♦ La pulsation propre est : $\boldsymbol{\omega_0} = \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{LC}}}$ (en rad/s) *(Si q(t) =$Q_m cos(\frac{2\pi}{T_0}\ t+\varphi)$ est solution de l'équation différentielle (car $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ alors il vérifie cette équation différentielle on a :* *$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$ équivaut à $-\frac{4\pi^2}{T_0^2} Q_m cos(\omega_0 t+\varphi) + \frac{1}{LC} Q_m cos(\omega_0 t+\varphi) = 0$* *$\longrightarrow Q_m cos(\omega_0 t+\varphi)\left[-\ \frac{4\pi^2}{T_0^2} + \frac{1}{LC}\right] = 0$ d'où $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$)* ♦ La période propre est : $\mathbf{T_0} = \boldsymbol{2\pi\sqrt{LC}}$ $(= \frac{2\pi}{T_0})$ (en s) ♦ La fréquence propre est : $\mathbf{N_0} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T_0}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{2\pi\sqrt{LC}}}$ (en Hz) **<u>Remarque :</u>** $\mathbf{Q_m}$ et $\boldsymbol{\varphi}$ sont des constantes qui se déterminent à l'aide des conditions initiales *(on a les représentations graphiques suivantes :)* 

Développement (suite)	Travail individuel Travail de groupe Questions-réponses	Calculez ces différentes grandeurs en précisant les origines des dates et en déduisez les expressions de la charge et de l'intensité en fonction du temps	Les élèves exécutent	**3.4. <u>Evolution de la charge du condensateur et de l'intensité du courant en fonction du temps</u>** Adoptons les conditions initiales suivantes : $A = 0$, $q(0) = Q_m$ et $i(0) = 0$ avec $Q_m > 0$ On a donc : $\mathrm{q}(0) = \mathrm{Q_m} \cos\varphi = \mathrm{Q_m} \longrightarrow \cos\varphi = 1 \longrightarrow \varphi = 0$ Ainsi $\mathrm{q(t)} = \mathrm{Q_m}\cos(\omega_0 t)$ or $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ $\longrightarrow i(t) = \frac{d}{dt}[\mathrm{Q_m}\cos(\omega_0 t)] = -\mathrm{Q_m}\omega_0 \sin(\omega_0 t)$ or $-\sin(\omega_0 t) = \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$ $\longrightarrow i(t) = \mathrm{Q_m}\omega_0 \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}) = \mathrm{I_m}\cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$ avec $\mathrm{I_m} = \mathrm{Q_m}\omega_0$ On obtient les représentations graphiques ci-dessous :  Quand la charge **(q)** atteint son amplitude, l'intensité ***(i)*** est nulle et vice versa. La phase de l'intensité par rapport à la charge est de $\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}$: on dit que **q** et ***i*** sont en **quadrature de phase**. En outre, ***i*** s'annule ou atteint son amplitude avant **q** : on dit que ***i*** est en avance de $\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}$ sur **q** *(ou i est en avance de phase sur q ; la phase étant de* $\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}$ *. On dit aussi que i est en quadrature avance sur q ou encore i est en avance dans le temps de* $\frac{T_0}{4}$ *sur q (les 2 courbes ont un décalage horaire de* $\frac{T_0}{4}$ *)* *Cela se traduit par les représentations suivantes : (à cause de la relation entre Q et U)*

Développement (suite)				
		<u>ACTIVITE D'APPLICATION</u> Le professeur donne un temps de recherche aux élèves et contrôle leurs productions	Chaque élève cherche les exercices au brouillon.	**<u>ACTIVITE D'APPLICATION</u>** *(S. voir cours physique)* Dans le montage ci-dessous, le condensateur est préalablement chargé par un générateur de f.é.m E = 10V et de résistance interne négligeable. 
Evaluation (15 min)	Questions-réponses	Le professeur envoie un élève au tableau pour chaque exercice.		On donne L = $1{,}97.10^{-2}$ H ; C = 0,5 µF. Un oscilloscope à mémoire permet de visualiser la tension aux bornes du condensateur. 1- Quels sont les branchements à effectuer ? 2- Donne l'allure de la courbe observée. 3 3.1-Etablis l'équation différentielle donnant la variation de la charge q du condensateur.
		Le professeur valide la réponse avant la prise de note par les autres élèves.	Chaque élève prend la solution dans son cahier.	3.2- Déduis la pulsation propre ω_o, la période propre T_o et la fréquence propre N_o des oscillations. 3.3-Détermine la charge maximale Q_m du condensateur. 3.4-Donne la solution de l'équation différentielle sachant qu'à t = 0s, la charge est maximale. 4- En déduis l'expression de *i* en fonction du temps

Développement (suite)	Travail individuel Travail de groupe Questions-réponses	**Activité :** Energie emmagasinée dans un circuit LC Rappelez l'énergie emmagasinée dans un condensateur Rappelez l'énergie emmagasinée dans une bobine. Déduisez-en l'expression de l'énergie emmagasinée dans un circuit LC. Que pouvez-vous dire de cette énergie ?	Les élèves exécutent Les élèves exécutent Les élèves exécutent Elle est constante	**4. Energie emmagasinée dans un circuit LC** Á chaque instant (t) l'énergie **E** emmagasinée dans un circuit LC est égale à la somme de l'énergie électrostatique $\boldsymbol{E_C}$ du condensateur et de l'énergie magnétique $\boldsymbol{E_L}$ de la bobine. Avec : ♦ $E_C = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}qU$ Sa valeur maximale est : $E_{C_{max}} = \frac{1}{2}\frac{Q_m^2}{C} = \frac{1}{2}CU_m^2 = \frac{1}{2}Q_m U_m$ ♦ $E_L = \frac{1}{2}Li^2$ Sa valeur maximale est : $E_{L_{max}} = \frac{1}{2}\mathrm{LI_m^2}$ L'énergie totale du circuit vaut donc à chaque instant (t) : $\boldsymbol{E = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2}$ Or $\mathrm{q(t) = Q_m cos(\omega_0 t + \varphi)}$ et $i = \frac{dq}{dt} = -\mathrm{Q_m \omega_0 sin(\omega_0 t + \varphi)}$ $\longrightarrow E = \frac{1}{2}\frac{Q_m^2 cos^2(\omega_0 t+\varphi)}{C} + \frac{1}{2}\mathrm{LQ_m^2\omega_0^2} sin^2(\omega_0 t + \varphi)$ or $\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \longrightarrow \mathrm{L}\omega_0^2 = \frac{1}{C}$ $\longrightarrow E = \frac{Q_m^2 cos^2(\omega_0 t+\varphi)}{2C} + \frac{Q_m^2 sin^2(\omega_0 t+\varphi)}{2C}$ $\longrightarrow E = \frac{Q_m^2}{2C}[cos^2(\omega_0 t + \varphi) + cos^2(\omega_0 t + \varphi)]$ $\longrightarrow \boxed{\mathbf{E = \frac{Q_m^2}{2C}}}$ **:** C'est l'énergie initiale du condensateur chargé. Elle est constante *(car indépendante du temps)* En utilisant : $\mathrm{I_m = Q_m}\omega_0$ *($I_m = Q_m\omega_0 \longrightarrow Q_m = \frac{I_m}{\omega_0} \longrightarrow Q_m^2 = \frac{I_m^2}{\omega_0^2} = \frac{I_m^2}{\frac{1}{LC}} = I_m^2 LC \longrightarrow E = \frac{I_m^2 LC}{2C} = \frac{1}{2}LI_m^2$)* On obtient : $\boxed{\mathbf{E = \frac{1}{2}LI_m^2}}$ **:** C'est l'énergie maximale emmagasinée dans la bobine. Elle est constante L'énergie totale d'un circuit LC est **constante**. *(se conserve à chaque instant)* On a donc un oscillateur électrique. *(ou oscillateur LC ou circuit oscillant non amorti car l'énergie est constante donc l'oscillation est continue)* On a les représentations graphiques suivantes :

Développement (suite)	Travail individuel Travail de groupe Questions-réponses	**<u>Activité :</u>** Analogie entre oscillateur mécanique et oscillateur électrique		 L'énergie électrique et l'énergie magnétique sont en **opposition de phase.** *(c'est-à-dire quand l'une atteint son maximum, l'autre s'annule et vice versa)*. Il y'a donc échange d'énergie entre le conducteur et la bobine. *(il y'a transformation de l'énergie électrique du condensateur en énergie magnétique dans la bobine et inversement et ce de façon continue d'où les oscillations non amorties observées)* ***<u>(N.B.</u> :*** *On peut établir l'équation différentielle à partir de la conservation de l'énergie totale* *On a :* $E = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2$ *or* $E = cte \longrightarrow \frac{dE}{dt} = 0$ $\longrightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li^2\right) + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}\right) = 0 \longrightarrow \frac{1}{2}L\frac{d}{dt}(i^2) + \frac{1}{2C}\frac{d}{dt}(q^2) = 0$ $\longrightarrow \frac{1}{2}L2i\frac{di}{dt} + \frac{1}{2C}2q\frac{dq}{dt} = 0$ *or* $i = \frac{dq}{dt} = \dot{q}$ *et* $\frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} = \ddot{q}$ *On retrouve donc :* $\ddot{q} = \frac{1}{LC}q = 0$ *Ou bien aussi : la dérivée de* $E = \frac{1}{2}CU^2 + \frac{1}{2}Li^2 = cte$ *donne aussi l'équation différentielle :* $\ddot{U} = \frac{1}{LC}U = 0$ *Ou bien à partir de la précédente équation, en remplaçant* $\ddot{q}$ *par* $C\ddot{U}$ *(car q = CU et C est une constante))* **5. <u>Analogie entre oscillateur mécanique et oscillateur électrique</u>** *L'analogie électro-mécanique est une apparence de similitude entre les grandeurs électriques et mécaniques induite par l'observation des oscillateurs en électricité et en mécanique et par la grande ressemblance entre les équations décrivant l'évolution de ces deux types de systèmes. Elle incite à généraliser les observations faites sur des systèmes simples à l'ensemble des oscillateurs*

<table>
<tr>
<td>Développement (suite)</td>
<td>Travail individuel

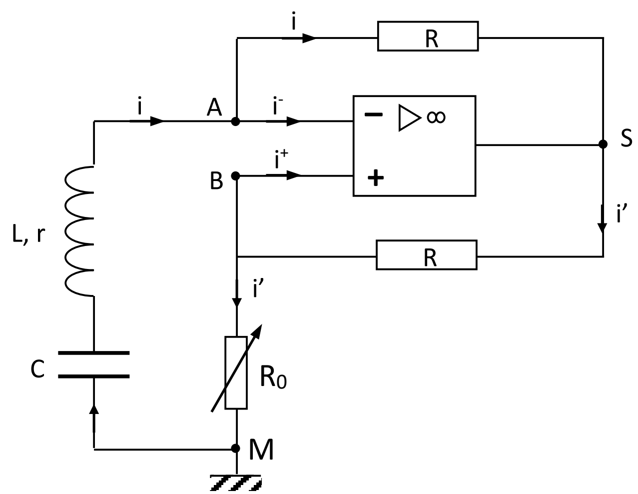
Travail de groupe

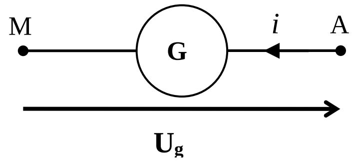
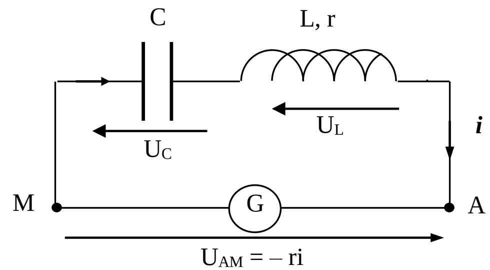
Questions-réponses</td>
<td>Etablissez l’analogie entre l’oscillateur mécanique et l’oscillateur électrique

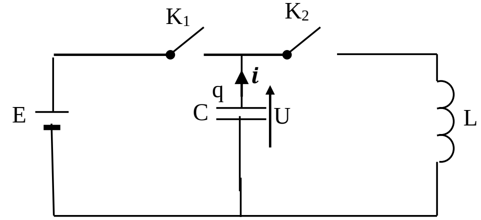
<u>Activité :</u>
Entretien des oscillations avec un circuit intégré linéaire</td>
<td>Les élèves exécutent

Le professeur explique l’influence de la résistance interne de la bobine sur les oscillations électriques</td>
<td>
<table>
<tr><th></th><th>Oscillateur mécanique</th><th>Oscillateur électrique</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Grandeurs</td><td>x (position ou élongation)</td><td>q (charge électrique)</td></tr>
<tr><td>$\ddot{x}$ (vitesse)</td><td>$\ddot{x}$ (intensité)</td></tr>
<tr><td>m (masse)</td><td>L (inductance)</td></tr>
<tr><td>k (constance de raideur)</td><td>$\frac{1}{C}$ (C : constance de raideur)</td></tr>
<tr><td>F=kx (force)</td><td>$U = \frac{q}{C}$ (tension)</td></tr>
<tr><td>f (force de frottement)</td><td>r (résistance)</td></tr>
<tr><td>Equation différentielle</td><td>$\ddot{x} = \frac{k}{m}x = 0$</td><td>$\ddot{q} = \frac{1}{LC}q = 0$</td></tr>
<tr><td>Pulsation propre</td><td>$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$</td><td>$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$</td></tr>
<tr><td>Solution de l’équation différentielle (ou équation de l’oscillation)</td><td>$x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$</td><td>$q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$</td></tr>
<tr><td>Energie totale à l’instant (t)</td><td>$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$</td><td>$E = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Autres énergies</td><td>E. cinétique maximale : $E_{C_m} = \frac{1}{2}mv_m^2$</td><td>E. magnétique maximale dans la bobine : $E_{L_m} = \frac{1}{2}LI_m^2$</td></tr>
<tr><td>E. potentielle élastique maximale : $E_{P_m} = \frac{1}{2}kX_m^2$</td><td>E. électrique maximale du condensateur : $E_{L_m} = \frac{1}{2}\frac{Q_m^2}{C}$</td></tr>
</table>

6. <u>Entretien des oscillations avec un circuit intégré linéaire</u>
6.1. <u>Influence de la résistance interne de la bobine</u>
En réalité, une bobine sans résistance n’existe pas. Par conséquent, les oscillations électriques libres non amorties n’existent pas en réalité
La présence (inévitable) de la résistance interne de la bobine entraine une dissipation d’énergie par effet joule. (la puissance dissipée est ri^2. L’énergie totale
</td>
</tr>
</table>

Développement (suite)				*n'est donc plus constante.* ***L'amplitude et l'énergie des oscillations diminue progressivement à cause des pertes par effet joule****.)* Pour entretenir *(ou perpétuer)* les oscillations, il faut apporter au circuit par l'intermédiaire d'un dispositif, la même quantité d'énergie qui a été dissipée *(perdue)*. C'est le rôle du circuit d'entretien des oscillations. *(en effet dans un circuit LC réel (r ≠ 0), on a (avec le schéma de 3.1.) :* *Loi des mailles :* $U_C + U_L = 0$ *or ici* $U_L = L\frac{di}{dt} + ri$ $\longrightarrow \frac{1}{C}q + L\frac{di}{dt} + ri = 0$ *or* $i = \frac{dq}{dt} = \dot{q} \longrightarrow \frac{1}{C}q + L\ddot{q} + r\dot{q} = 0$ *1* *D'où l'équation différentielle suivante :* $\boldsymbol{\ddot{q} + \frac{r}{L}\dot{q} + \frac{1}{LC}q = 0}$ *En outre l'énergie totale vaut :* $E = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ *Donc :* $\frac{dE}{dt} = \frac{1}{2}L\frac{di^2}{dt} + \frac{1}{2C}\frac{dq^2}{dt} = \frac{1}{2}L2i\frac{di}{dt} + \frac{1}{2C}2q\frac{dq}{dt} = Li\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}q\frac{dq}{dt}$ $\longrightarrow \frac{dE}{dt} = Li\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}qi = i\left(L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}q\right) = i(L\ddot{q} + \frac{1}{C}q)$ *Or selon 1* $L\ddot{q} + \frac{1}{C}q = -r\dot{q} = -ri \longrightarrow \frac{dE}{dt} = i(-ri) = -ri^2$ $\longrightarrow \boldsymbol{\frac{dE}{dt} = -ri^2 < 0}$ *: donc il y'a diminution (perte) d'énergie par effet joule dans un circuit LC réel. Les oscillations ne sont donc plus périodiques : elles sont amorties)*
	Expérimentation			**6.2. <u>Circuit d'entretien des oscillations</u>** C'est un générateur auxiliaire *(spécial)* qu'on place aux bornes du circuit (L,r,C)
		Réalisez ce montage de l'entretien des oscillations d'un circuit LC à l'aide d'un circuit intégré linéaire.		**6.2.1. <u>Schéma du montage</u>**
	Travail de groupe	Soyez attentif et observez l'expérience.	Les élèves observent attentivement l'expérience.	
	Questions-réponses			

Développement (suite)	Expérimentation	Evaluez la tension U_{AM}	Les élèves exécutent	**6.2.2. <u>Evaluation de la tension U_{AM}</u>** *(l'amplificateur est idéal ($U_{AB} = 0$; $i^+ = i^- = 0$) et fonctionne en régime linéaire)* $U_{AM} = U_{AB} + U_{BM} = 0 + R_0 i'$ Dans la maille ASBA : $U_{AS} = U_{SB} = U_{BA} = 0 \longrightarrow Ri + Ri' + 0 = 0$ $\longrightarrow Ri = -Ri' \longrightarrow \boldsymbol{i = -i'}$ donc $\mathbf{U_{AM} = -R_0 i}$ *(car $U_{AM} = R_0 i'$)* Le générateur auxiliaire se comporte comme une résistance négative ($-R_0$) et fournit au circuit une tension $\mathbf{U_g = U_{AM} = -ri}$ avec $\boldsymbol{R_0 = r}$; $\boldsymbol{r}$ étant résistance interne de la bobine. *(càd on choisit R_0 tel que R_0 soit égale à la résistance interne de la bobine)*  *N.B. :Ici i et U_g sont de sens contraires car le générateur se comporte comme un conducteur ohmique (récepteur)* à *résistance négative*
	Travail de groupe			**6.2.3. <u>Vérification de l'équation différentielle</u>** Le circuit précédent équivaut donc à : 
	Questions-réponses	Vérifiez l'équation différentielle	Les élèves exécutent	Loi des mailles : $U_{AM} + U_L + U_C = 0 \longrightarrow -ri + L\frac{di}{dt} + ri + \frac{1}{C}q = 0$ $\longrightarrow L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}q = 0 \longrightarrow L\ddot{q} + \frac{1}{C}q = 0$ $\longrightarrow$ $\mathbf{\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0}$ **:** Equation différentielle d'un oscillateur non amorti Ainsi grâce au générateur auxiliaire, les oscillateurs redeviennent sinusoïdales *(non amorties)* : elles sont dites **entretenues**. *(donc pour avoir des oscillations sinusoïdales, on place dans le circuit, en série avec la bobine réelle et le condensateur, un **générateur auxiliaire,** (équivalent à un conducteur ohmique de résistance négative (**– R_0** avec **R_0 = r**)) **pour** compenser l'énergie perdue par effet joule à cause de la résistance interne de la bobine)*

Développement (suite)		Tirez-en une conclusion	Le montage avec un amplificateur opérationnel à « résistance négative » permet d'entretenir les oscillations d'un circuit oscillant	**6.2.4. <u>Conclusion</u>** Le montage avec un amplificateur opérationnel à « résistance négative » permet d'entretenir les oscillations d'un circuit *(ou d'un dipôle)* oscillant en gardant la période de ce circuit *(ou de ce dipôle)*
Evaluation (30 min)	Questions-réponses	**<u>SITUATION D'EVALUATION</u>** Le professeur donne un temps de recherche aux élèves et contrôle leurs productions Le professeur envoie un élève au tableau pour chaque exercice. Le professeur valide la réponse avant la prise de note par les autres élèves.	Chaque élève cherche les exercices au brouillon. Chaque élève prend la solution dans son cahier.	**<u>SITUATION D'EVALUATION</u>** *(S. voir cours physique)* Dans le montage ci-dessous, E =15 V, C = 0,4µF et L = 80mH. L'interrupteur K_2 est ouvert ; on ferme K_1 puis, après quelques secondes, on l'ouvre à nouveau.  1. Calcule la valeur de la charge Q_o portée par l'armature supérieure du condensateur. 2. Donne la valeur de l'intensité i du courant électrique à la fin de la charge du condensateur. 3. Calcule dans ces conditions l'énergie électrostatique et l'énergie magnétique emmagasinée respectivement dans le condensateur et la bobine. 4. A l'instant t = 0, on ferme l'interrupteur K_2. on note i l'intensité algébrique du courant dans la bobine, q la charge de l'armature supérieure du condensateur. 4.1. Quelle relation y a-t-il entre i et $\frac{dq}{dt}$? 4.2. Etablis l'équation différentielle du circuit correspondant 4.3. Vérifie que la solution de cette équation différentielle est de la forme : $u = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$. 4.4. Détermine U_m et φ sachant qu'à l'instant initial t = 0, i = 0. 4.5. Détermine la valeur numérique de la période T_0 du circuit et calcule à $\frac{T_0}{4}$: - la charge q de l'armature supérieure, - l'intensité i dans la bobine, - l'énergie électrostatique et l'énergie magnétique présentes dans le circuit. 5. Montre que l'energie totale du circuit se conserve.