ETINCELLE
PHYSIQUE

Apostrophe

Auteurs

Driss FAZAZI
Inspecteur principal du second cycle
de physique-chimie

Mohammed EL HEDDARI
Ex-inspecteur principal du second cycle
de physique-chimie

Sommaire...

Physique

▶ Partie 1 : Les ondes

CHAPITRE 1 : Ondes mécaniques progressives 05
Activité 1 : Les différents types d'ondes 06
Activité 2 : Vitesse de propagation d'une onde 08
Activité 3 : Propriétés de propagation des ondes sonores 10
Activité 4 : Superposition de petits signaux 14
L'essentiel du cours 16
Exercices d'application 17

CHAPITRE 2 : Ondes mécaniques progressives périodiques 21
Activité 1 : Propagation des ondes sonores 22
Activité 2 : Principe de fonctionnement d'un sonar 24
Activité 3 : Dispersion des ondes 26
Activité 4 : Diffraction des ondes à la surface de l'eau 30
Activité 5 : Diffraction des ondes ultrasonores 32
L'essentiel du cours 34
Exercices d'application 35

CHAPITRE 3 : Ondes lumineuses 39
Activité 1 : Diffraction des ondes lumineuses 40
Activité 2 : Facteurs influençant sur le phénomène de diffraction 44
L'essentiel du cours 48
Exercices d'application 49

▶ Partie 2 : Physique nucléaire

CHAPITRE 1 : Décroissance radioactive 53
Activité 1 : Découverte de la radioactivité 54
Activité 2 : Diagramme de Segré 58
Activité 3 : Loi de décroissance radioactivité 62
L'essentiel du cours 64
Exercices d'application 65

CHAPITRE 2 : Noyaux - Masse et énergie 69
Activité 1 : Compacité d'un noyau 70
Activité 2 : Réactions nucléaires provoquées 74
Activité 3 : Réacteur nucléaire 78
L'essentiel du cours 80
Exercices d'application 81

▶ Partie 3 : Électricité

CHAPITRE 1 : Condensateur et Bobine 85
Activité 1 : Capacité d'un condensateur 86
Activité 2 : Tension aux bornes d'une bobine 90
L'essentiel du cours 94

CHAPITRE 2 : Réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension 95
Activité 1 : Réponse à un échelon de tension ascendant 96
Activité 2 : Réponse à un échelon de tension descendant 98
L'essentiel du cours 100
Exercices d'application 101

CHAPITRE 3 : Réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension 105
Activité 1 : Réponse à un échelon de tension a scandent 106
L'essentiel du cours 108
Exercices d'application 109

CHAPITRE 4 : Oscillations Libres dans un circuit RLC série 113
Activité 1 : Décharge d'un condensateurs à travers une bobine 114
L'essentiel du cours 118
Exercices d'application 119

CHAPITRE 5 : Modulation et Démodulation d'amplitude 123
Activité 1 : Principe de modulation d'une information 124
Activité 2 : Filtres de fréquences 128
Activité 3 : Principe de la démodulation d'une information 130
L'essentiel du cours 134
Exercices d'application 135

▶ Partie 4 : Mécanique

CHAPITRE 1 : Lois de Newton 139
Activité 1 : Deuxième loi de Newton 140
L'essentiel du cours 142
Exercices d'application 143

CHAPITRE 2 : Applications des lois de Newton - Mouvements rectilignes 145
Activité 1 : Chute verticale avec frottements 146
Activité 2 : Chute verticale libre 148
L'essentiel du cours 150
Exercices d'application 151

CHAPITRE 3 : Applications des lois de Newton - Mouvements plans 155
Activité 1 : Mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur 156
Activité 2 : Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique 160
Activité 3 : Lois de Kepler 164
L'essentiel du cours 168
Exercices d'application 169

CHAPITRE 4 : Relation quantitative entre la somme des moments et l'accélération angulaire 175
Activité 1 : Relation fondamentale de la dynamique 176
L'essentiel du cours 180
Exercices d'application 181

CHAPITRE 5 : Systèmes oscillants 183
Activité 1 : Oscillation libres d'un système (corps+ressort) 184
Activité 2 : Oscillation libres d'un pendule de torsion 186
Activité 3 : Oscillations libres d'un pendule pensant 190
Activité 4 : Oscillations libres d'un pendule simple 194
Activité 5 : Phénomène de résonance mécanique 198
L'essentiel du cours 202
Exercices d'application 203

CHAPITRE 6 : Aspects énergétiques 207
Activité 1 : Transformations d'énergie 208
L'essentiel du cours 210
Exercices d'application 211

CHAPITRE 7 : Atome et mécanique de Newton 215
Activité 1 : Limites de la mécanique classique 216
L'essentiel du cours 220
Exercices d'application 221

▶ **Équation aux dimension** 223
▶ **Tableau périodique des éléments chimiques** 224

Apostrophe

Électricité

CHAPITRE 4

Le condensateur et la bobine sont deux reservoirs d'énergie.

OSCILLATIONS LIBRES DANS UN CIRCUIT RLC SÉRIE

Que se passe -t-il lorsqu'on relie ces deux réservoirs ?

Apostrophe

Objectifs

- Décharge d'un condensateur dans une bobine.
- Influence de l'amortissement- pseudo-période.
- Interprétation énergétique : transfert d'énergie entre le condensateur et la bobine, effet Joule.
- Étude analytique dans le cas d'un amortissement faible (résistance négligeable)
- Période propre.
  - Étude expérimentale.
  - Étude théorique.

Décharge d'un condensateurs à travers une bobine

Objectif

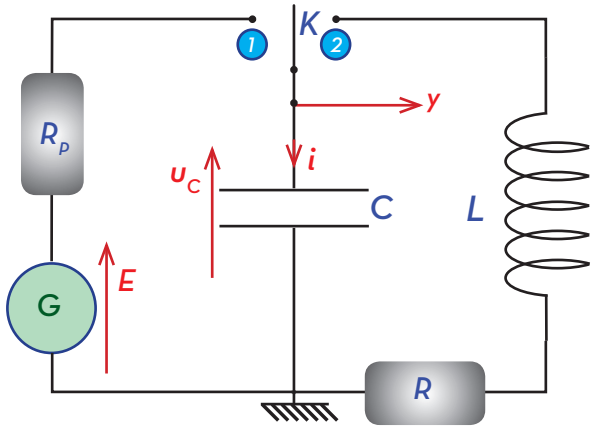
Mise en évidence des régimes de décharge d'un condensateur dans un circuit inductif.

Activité expérimentale

Une bobine branchée aux bornes d'un condensateurs initialement chargée s'oppse à sa d"charge d'un seul coup.

▸ ***Quell est le rôle de la résistance dans cette d'écharge?***

Doc.1 Montage d'étude



Matériel :

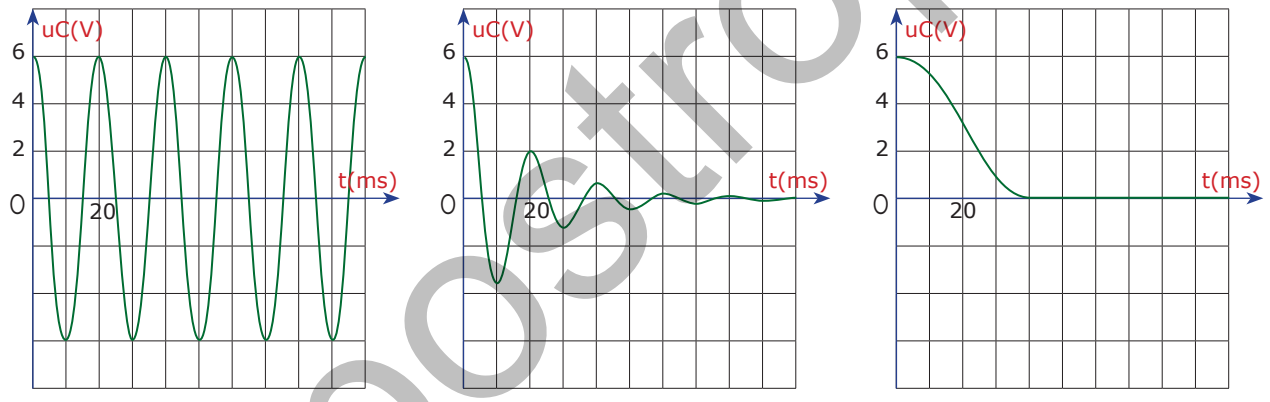
Représenté sur **Doc. 1** ci-contre + oscillo à mémoire.

Manipulation :

1. Réaliser le circuit schématisé sur **Doc. 1** :
L = 0.51 H ; C = 20 µF
2. Mettre l'interrupteur sur la position 1 pour charger le condensateur.
3. Basculer l'interrupteur en position 2 et visualiser la courbe $u_C(t)$ pour différentes valeurs de R.

Les courbes obtenues ressemblent à celles reproduites sur **Doc. 2** (a,b et c) suivant :

Doc.2 Différents régimes des oscillations



*a- **Régime périodique** R = 0 Ω* *b- **Régime pseudo-périodique** R = 50 Ω* *c- **Régime apériodique** R = 300 Ω*

Piste de travail :

1- Calculer la variation de l'énergie totale entre les instants t = 0 et t = 40 ms pour chacun des cas.

a	b	c

Apostrophe

Exploitation

Apostrophe

2- Quel est le facteur responsable de cette variation.

3- Noter la valeur de la période T_0 et celle de la pseudo-période T des oscillations, les comparer

4- Sachant que l'expression de la période s'écrit $T_0 = a\sqrt{LC}$; trouver la dimension de $\sqrt{LC}$, et en déduire la valeur et la dimension de a.

Relation	Équation aux dimensions

Apostrophe

Ce qu'il faut savoir

- Les unités de L et C
- $\pi \simeq 3{,}14$

Lexique

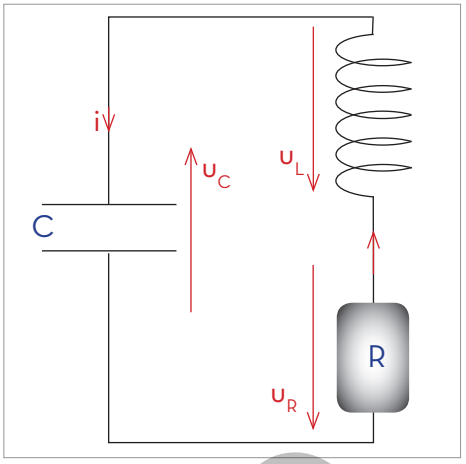
- ***Période :*** Durée de répétitions identiques;
- ***Pseudo-période :*** Durée de répétition avec amortissement;
- ***Apériodique :*** Non répétitif.

Exploitation

Apostrophe

1. Circuit idéal (LC) :

La résistance du circuit est négligeable ($R_e = 0$)



1.1. Equation différentielle vérifiée par u_C :

$$u_C + u_L = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_C = 0$$

1.2. Solution de l'équation différentielle :

La solution s'écrit sous la forme :

$$u_C(t) = U_{Cmax}\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$$

1.3. Période et fréquence :

$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ et $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

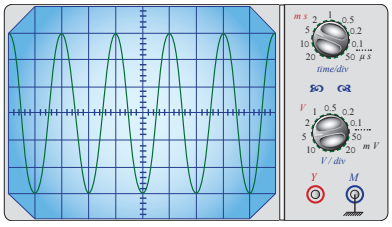
2. Circuit réel (RLC) :

La résistance totale du circuit est non nulle : $R_e = R + r$

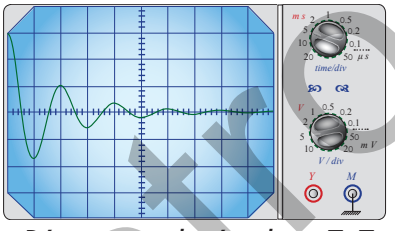
2.1. Equation différentielle vérifiée par u_C :

$$u_C + u_R + u_L = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{R_e}{L}\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{LC}u_C = 0$$

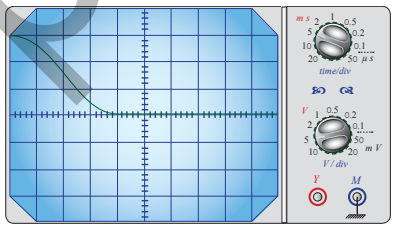
Les courbes $u_C(t)$ dans les différents cas auront les allures suivantes :



▲ *Régime périodique*



▲ *Régime pseudopériodique $T \approx T_0$*



▲ *Régime apériodique*

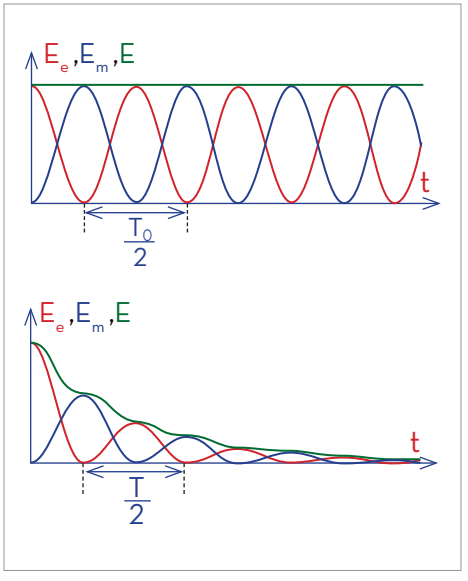
3. Étude énergétique :

3.1. Énergie totale :

$E = E_e + E_m \Rightarrow E = \frac{1}{2}Cu_C^2 + \frac{1}{2}Li^2$

3.2. Variation de l'énergie totale :

$$\frac{dE}{dt} = Cu_C\frac{du_C}{dt} + Li\frac{di}{dt} = LC^2\frac{du_C}{dt}\left(\frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_C\right)$$



- ***Si le circuit est idéal :*** $\frac{dE}{dt} = 0$,

l'énergie totale se conserve $E = (E_e)_{max} = (E_m)_{max}$.

- ***Si le circuit est réel :*** $\frac{dE}{dt} = -R_e.i^2 < 0$

l'énergie totale se dissipe par effet joule.

$E = E_{emax} + E_{mmin} = E_{mmax} + E_{emin}$

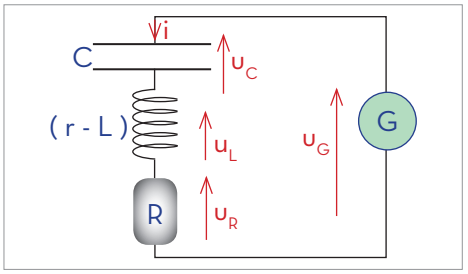
4. Entretien des oscillations :

$$u_C + u_R + u_L = u_g \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R_e - K}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = 0$$

Pour que les oscillations deviennent entretenues, il faut : $K = R_e$

Le générateur compense les pertes d'énergie, mais ne change pas la période des oscillations T_0.

Les oscillations sont toujours libres.



Apostrophe

1 QCM

À chaque question peuvent correspondre aucune, une seule ou plusieurs propositions correctes.

1. Est-il possible d'observer des oscillations libres dans un circuit composé d'un condensateur de capacité C et d'un résistor de résistance R en série ?

a. oui, à condition que R soit faible ;

b. non, le circuit doit comporter un dispositif d'entretien des oscillations;

c. oui, et la période de ces oscillations sera : $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$.

2. Le caractère pseudopériodique ou apériodique de la décharge d'un condensateur dans une bobine en série avec un conducteur ohmique est déterminé par :

a. La valeur de la résistance totale R du circuit pour une valeur donnée du produit L.C;

b. La valeur de la résistance totale R du circuit, et celle du produit RC;

c. La valeur de la résistance totale R du circuit et celle de L.

3. Un condensateur a été chargé sous une tension U. On le relie à une bobine (L, r) à l'instant t = 0. Au bout d'un temps suffisamment long :

a. La tension u_C aux bornes du condensateur est nulle ;

b. L'intensité du courant dans le circuit est égale à I, telle que $\frac{1}{2}.L.I^2 = \frac{1}{2}.C.U^2$;

c. L'intensité est nulle.

4. Pour obtenir des oscillations sinusoïdales entretenues, on peut insérer un dispositif dit « à résistance négative R » en série dans un circuit RLC série.

a. Ce dispositif doit être relié à un générateur fournissant de l'énergie à chaque instant.

b. Ce dispositif restitue au condensateur l'énergie que ce dernier cède à la bobine en se déchargeant, afin que l'énergie totale du circuit reste constante.

c. En convention générateur, on a u = -R.i où u est la tension aux bornes du dispositif et i l'intensité du courant qui le traverse.

2 Oscillations dans un circuit LC

On étudie un circuit LC série où L = 4,9 mH et C = 10 nF. La tension aux bornes du condensateur est visualisée à l'aide d'un oscilloscope. On constate qu'après 20 pseudo-périodes, l'amplitude des oscillations est quasi nulle.

1. Calculer la période propre du circuit LC.

2. Sur l'écran de l'oscilloscope, l'axe des abscisses comporte 10 divisions.

Parmi les vitesses de balayage suivantes, laquelle faut-il choisir pour observer approximativement une période du signal sur l'écran ?

a. 5 ms/division ; **b.** 1 ms/division ; **c.** 5 µs/division; **d.** 0,5 ms/division.

3 Charge d'un condensateur

Un condensateur chargé portant une charge initiale Q_0 sur une de ses armatures, notée A, est déchargé dans une bobine d'inductance L. La résistance totale du circuit est nulle.

1. Faire le schéma du montage.

2. Expliquer sans calcul pourquoi la charge Q de l'armature A s'écrit :

$Q(t) = Q_0 . \cos\left[\frac{2.\pi}{T_0}.t\right]$ et non

$Q(t) = Q_0 . \sin\left[\frac{2.\pi}{T_0}.t\right]$.

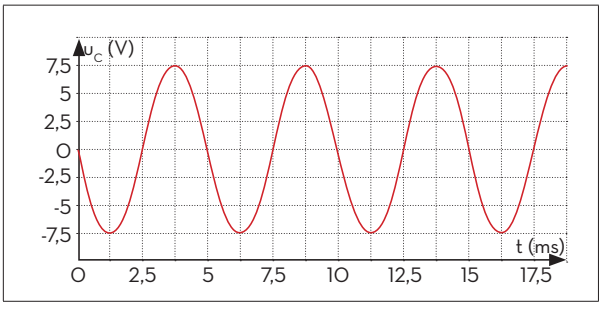
3. Exprimer la période propre T_0 en fonction de L et C.

4 Exprimer la tension u_c en fonction du temps

Le graphique ci-dessous présente l'évolution de la tension uc aux bornes du condensateur d'un circuit (L, C) et telle que :

$$u_C = U_m . \cos\left[\frac{2.\pi}{T_0} . t + \varnothing_0\right]$$

Déterminer les valeurs numériques des constantes T_o, U_m et $\varnothing_0$.



5 Décharge d'un condensateur dans une bobine idéale

On charge un condensateur de capacité C sous une tension U_0. On effectue ensuite sa décharge dans une bobine d'inductance L. La résistance totale du circuit de décharge est supposée nulle.

1. Faire un schéma du circuit de décharge. Choisir un sens d'orientation et représenter la tension

Apostrophe

u_C aux bornes du condensateur, en convention récepteur.

2. Établir l'équation différentielle relative à la tension $u_C(t)$.

3. Donner les conditions initiales de la décharge.

4. En déduire les expressions de $u_C(t)$ et de $i(t)$.

6 Oscillations libres

On charge un condensateur de capacité C = 22 µF sous une tension U_0 = 3 V. On effectue ensuite sa décharge dans une bobine d'inductance L = 38 mH. La résistance totale du circuit de décharge est nulle.

1. Quelles sont les grandeurs physiques qui vont évoluer de manière périodique ?

2. Calculer la période T_0 de ces oscillations.

3. En fait, la résistance du circuit n'est pas nulle, mais elle est très faible. Décrire l'allure de la courbe de $u_C(t)$. Évaluer la grandeur temporelle caractéristique du phénomène.

7 Décharge dans un circuit réel

On décharge un condensateur dans un dipôle constitué d'une bobine d'inductance L. La résistance totale du circuit est R. L'intensité du courant dans le circuit est nulle à l'instant t = 0. Soit q la charge portée par une des armatures du condensateur.

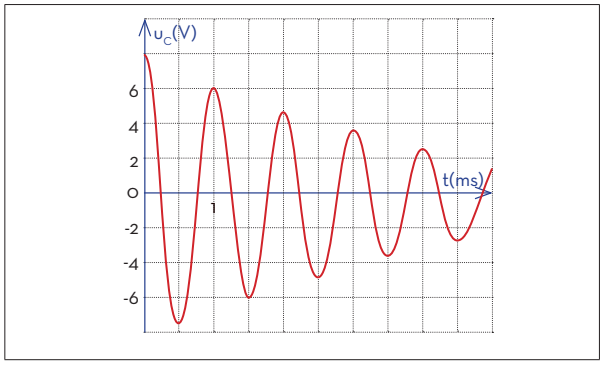
1. Expliquer brièvement pourquoi la pente de la courbe q (t) est nulle à l'instant t = 0.

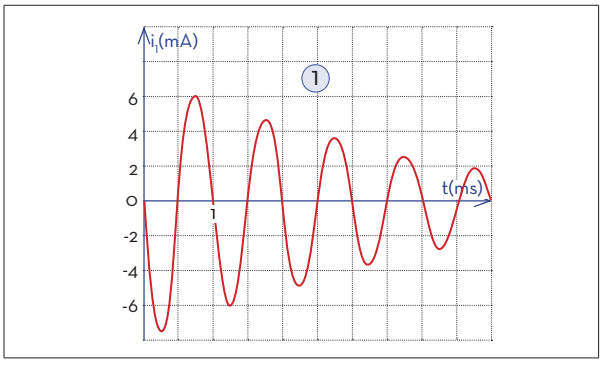
2. Qu'en est-il de la pente de la courbe de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur au même instant ?

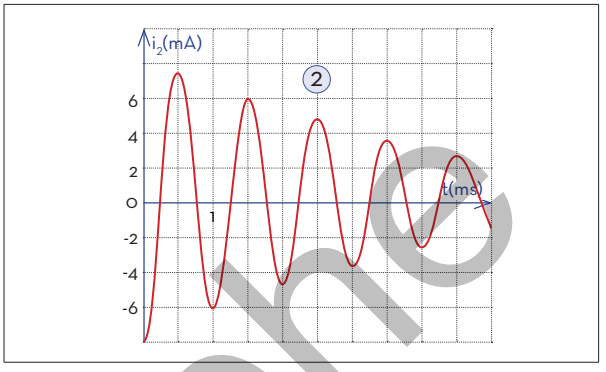
8 Régimes de décharge d'un condensateur dans un dipôle RL

On représente sur le graphe ci-dessous l'évolution temporelle de la tension u_C aux bornes d'un condensateur de capacité C, qui se décharge dans une bobine possédant une résistance interne. L'une des courbes (1) ou (2) ci-dessous représente l'évolution de l'intensité :

$$i = C \cdot \frac{du_C}{dt}$$







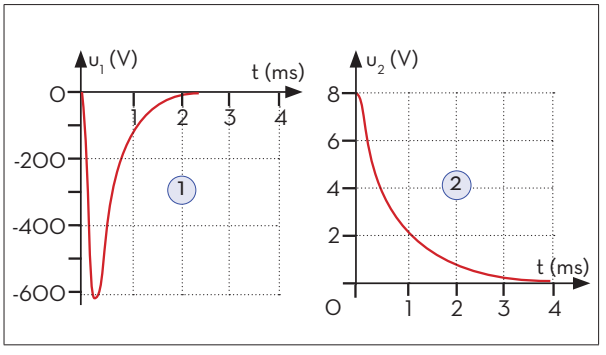
1. Quelle est la tension initiale aux bornes du condensateur ?

2. Donner la pseudo-période du phénomène.

3. Quelle courbe représente l'intensité ? Expliquer.

9 Reconnaitre un graphe

On observe la décharge d'un condensateur dans une bobine d'inductance L, la résistance totale du circuit étant égale à R_{tot}. On relève la tension u_C aux bornes du condensateur et la tension u_r aux bornes d'un résistor de résistance r du circuit. À quel graphe correspond la tension u_C ? u_r ?



10 Quel régime a-t-on ?

On décharge un condensateur dans un dipôle constitué d'une bobine d'inductance L. La résistance totale du circuit est R.

1. Représenter l'allure des courbes d'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur pour les régimes :

a. pseudopériodique ;

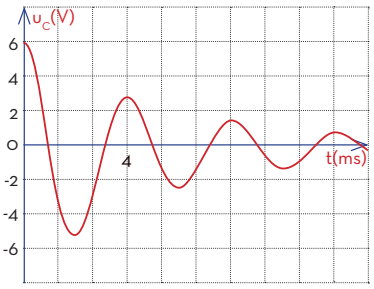
b. apériodique.

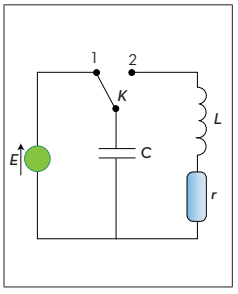
2. Si le but recherché est la décharge rapide du condensateur, quel régime faut-il adopter ?

Apostrophe

11 Oscillations libres ou non ?

On réalise le montage électrique ci-dessous. On prend C=2µF. Le condensateur est préalablement chargé (K en position I). On bascule K en position 2 et on enregistre les variations de la tension u_C aux bornes du condensateur. On observe l'oscillogramme ci-dessous :





1. Pourquoi parle-t-on d'oscillations libres ?
2. Préciser la nature du régime d'oscillation observé.
3. Quelle est la pseudo-période des oscillations ?
4. En admettant que l'on peut assimiler cette pseudo-période à la période des oscillations non amorties du circuit LC correspondant, calculer la valeur de l'inductance L de la bobine.

12 Exploiter des conditions initiales

Un condensateur de capacité C = 10 µF, chargé sous une tension de 8,0 V, est branché, à la date t = 0, aux bornes d'une bobine d'inductance L = 40 mH, de résistance négligeable.
La tension u_c aux bornes du condensateur d'un circuit (L, C) obéit à l'équation différentielle:

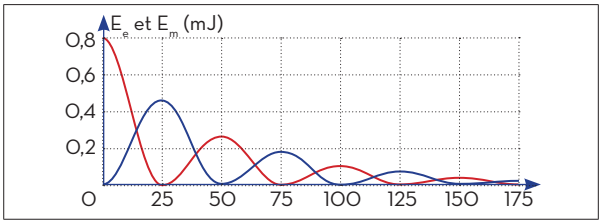
$$\frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{1}{L.C} . u_C = 0$$

de solution générale : $u_C = U_m . \cos\left[\frac{2.\pi}{T_0} . t + \varphi_0\right]$

Un dispositif d'acquisition transmet les valeurs de uc à un ordinateur qui en donne la représentation graphique.
Au début de l'acquisition (t = 0), la tension u_c est nulle et évolue en valeurs croissantes.
1. Déterminer l'amplitude des oscillations.
2. Déterminer la phase à l'origine φ_0.
3. Calculer la période T_O des oscillations.
4. Donner l'allure de la courbe obtenue sur l'écran de l'ordinateur.

13 Savoir lire un graphique

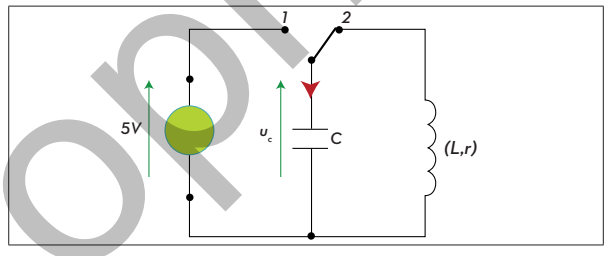
Un condensateur, une bobine et un conducteur ohmique sont placés en série dans un circuit. On a représenté sur le graphique ci-dessous les énergies électrique E_e emmagasinée dans le condensateur et magnétique E_m localisée dans la bobine.



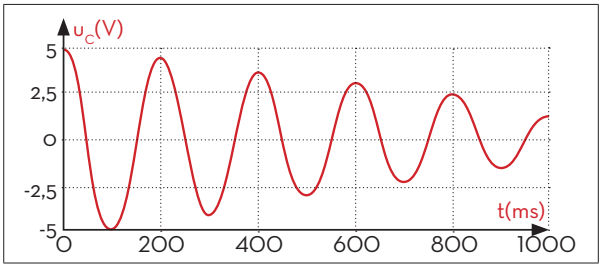
1. À la date t = 0, quelles sont les valeurs des énergies stockées dans les différents dipôles ? Le condensateur est-il chargé ?
2. En utilisant les expressions des énergies E_e et E_m, justifier le fait que ces grandeurs ont des valeurs toujours positives.
3. Pourquoi les valeurs des énergies diminuent-elles au cours du temps ?

14 Oscillations dans un circuit (R, L, C)

Un circuit (R, L, C) est constitué d'une bobine d'inductance 6,8 mH de résistance interne r inconnue et d'un condensateur de capacité inconnue.



Le commutateur est initialement en position 1, puis à la date t = 0, on le bascule en position 2. On enregistre l'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur (voir le graphique ci-dessous).



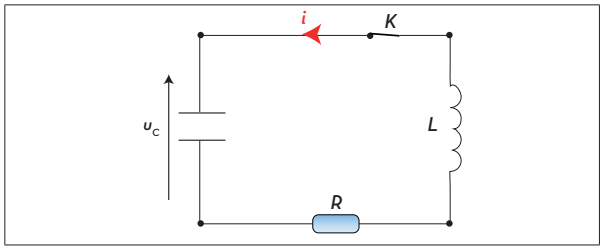
1. Déterminer les valeurs à la date t = 0 :
a. de la tension u_e aux bornes du condensateur;
b. de l'intensité i du courant.
2. La résistance de la bobine est-elle nulle? Justifier.
3. Déterminer graphiquement la pseudo-période T des oscillations. En déduire la valeur de la capacité du condensateur en considérant que T est proche de la période propre T_O.
4. Quelle est la valeur de l'énergie initiale Ee (0) stockée dans le condensateur ? En déduire la valeur initiale de l'énergie totale du circuit.
5. Quelle est la valeur de l'énergie Ee (3T) stockée dans le condensateur après une durée égale à trois pseudo-périodes ?
6. Calculer la perte d'énergie de l'oscillateur après une durée égale à trois pseudo-périodes.

Apostrophe

Préciser comment cette énergie a été perdue.

15 Quel graphique choisir ?

On réalise le montage schématisé ci-dessous dans lequel le condensateur est initialement chargé ($u_e > 0$).

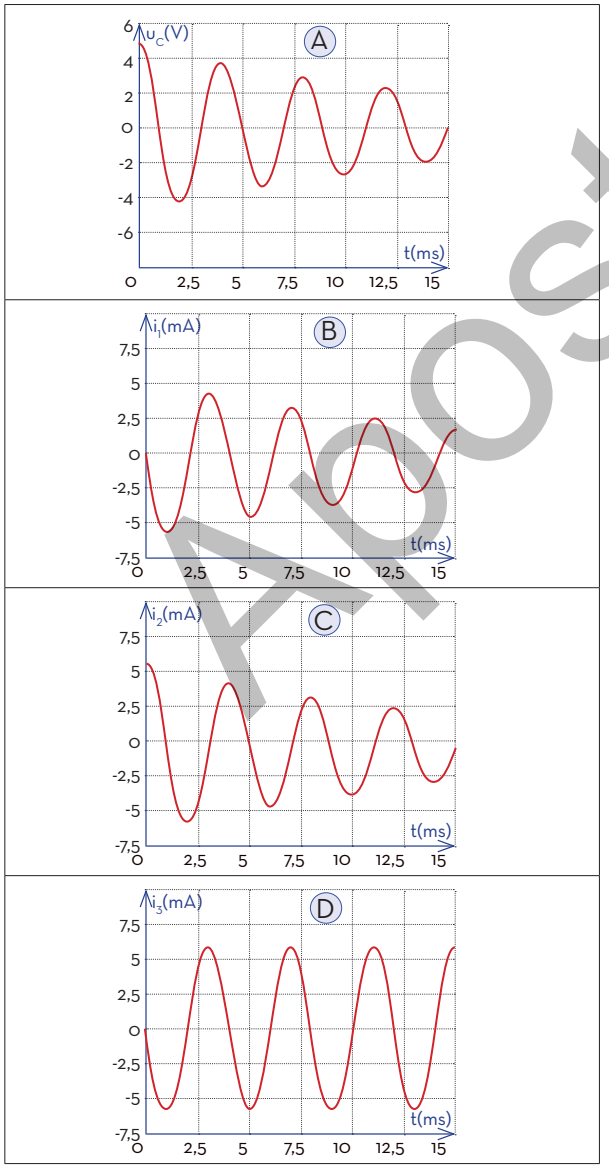


1. Représenter les branchements permettant d'acquérir la tension u_C aux bornes du condensateur grâce à un système informatisé.

2. On souhaite visualiser l'intensité i(t) du courant. Comment procéder ?

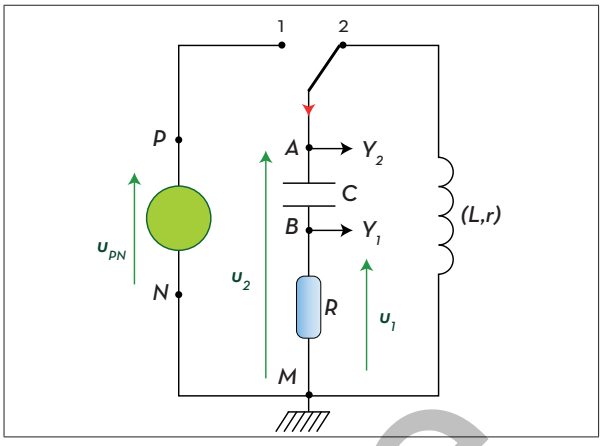
3. Le graphique A représente la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.

Parmi les autres graphiques (B, C, D), lequel représente l'intensité i(t) du courant correspondant à cette expérience ?

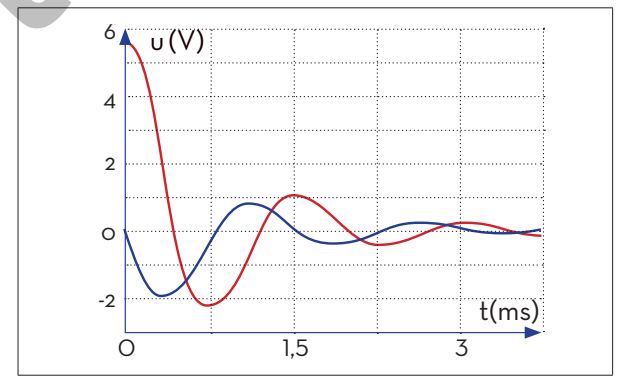


16 Le bon choix

On considère le circuit schématisé ci-dessous.



Le générateur maintient entre ses bornes la tension u_{PN} = 5,5 V. Le commutateur est initialement en position 1. À l'instant t = 0, début de l'acquisition, le commutateur est basculé de la position 1 à la position 2. On enregistre les tensions u_1 et u_2 sur les voies Y_1 et Y_2. À partir des tensions enregistrées, on trace le graphique donnant l'évolution en fonction du temps de la tension u_R aux bornes du résistor de résistance R (Convention récepteur), puis, après calculs, le graphique donnant l'évolution en fonction du temps de la tension u_e aux bornes du condensateur (convention récepteur) (voir les courbes ci-dessous).



1. Comment nomme-t-on ce type de décharge du condensateur?

2. a. Comment, à partir des tensions enregistrées, u_1 et u_2.obtient-on la tension u_C?

b. Lequel, des graphiques ci-dessus, représente u_C? Justifier.

3. a. Laquelle des tensions représentées indique le mode d'évolution de l'intensité i du courant?

b. Durant les premières 200 µs, quel est le signe de l'intensité i du courant? Quel est le sens du courant?

4. a. Donner une valeur approchée de la pseudo-période.

b. La résistance de ce circuit est-elle négligeable? Justifier la réponse.

Apostrophe

Équations aux dimensions

1- Unités internationales et équation aux dimensions :

- Deux grandeurs A et B sont homogènes, s'il existe un nombre α tel que $A = \alpha B$, on dit que A et B ont la même dimension.
- On associe à chaque relation une équation dont les deux membres sont les dimensions des grandeurs utilisés dans la relation.
- Le système international d'unités (SI) se compose de sept unités :

Grandeur	Unité	Symbole de l'unité	Symbole de la dimension
Longueur	mètre	m	L Longueur
Masse	kilogramme	kg	M Masse
Durée	Seconde	S	T Temps
Intensité du courant	Ampère	A	I Intensité
Quantité de matière	Mol	Mol	N Nombre de moles
Température	Kelvin	K	Θ
Intensité lumineuse	Candela	Cd	J

- On utilise souvent les quatre premières unités.
- On désigne la dimension d'une grandeur par son symbole entre crochets sauf les grandeurs du système international.

Exemple :

[F]désigne la dimension de la force

2- Règles d'écriture des équations aux dimensions :

- Une équation aux dimensions s'écrit entre les scalaires associés aux grandeurs de la relation.
- Les deux membres d'une égalité ont la même dimension.
- Les éléments d'une somme ou soustraction ont la même dimension.

$$[A+B] = [A] = [B] \text{ et } [A-B] = [A] = [B]$$

- La dimension d'un produit est égale au produit des dimensions.

$$[A \,.\, B] = [A] \,.\, [B]$$

- La dimension d'un rapport est égale au rapport des dimensions.

$$\left[\frac{A}{B}\right] = \frac{[A]}{[B]}$$

- Le rapport de deux grandeurs de même dimension est sans dimension.

$$[A] = [B] \Rightarrow \frac{[A]}{[B]} = 1$$

3- Applications :

3-1- Détermination de la dimension d'une grandeur :

Exemple 1 :

Dimension de la force.

Relation	Équation aux dimensions
$W_{A\to B}(F) = \vec{F} \,.\, \vec{AB}$ $Ec = \frac{1}{2} mv^2$	$[F] = \frac{[W]}{L}$ $[W] = [E] = M(LT^{-1})^2$ $[F] = \frac{ML^2T^{-2}}{L} = MLT^{-2}$

Exemple 2 :

Dimension de l'intensité de pesanteur g .

Relation	Équation aux dimensions
$P = mg$	$[g] = \frac{[P]}{M} = \frac{MLT^{-2}}{M}$ $[g] = LT^{-2}$

3-2- S'assurer de l'homogénéité d'une relation :

Exemple :

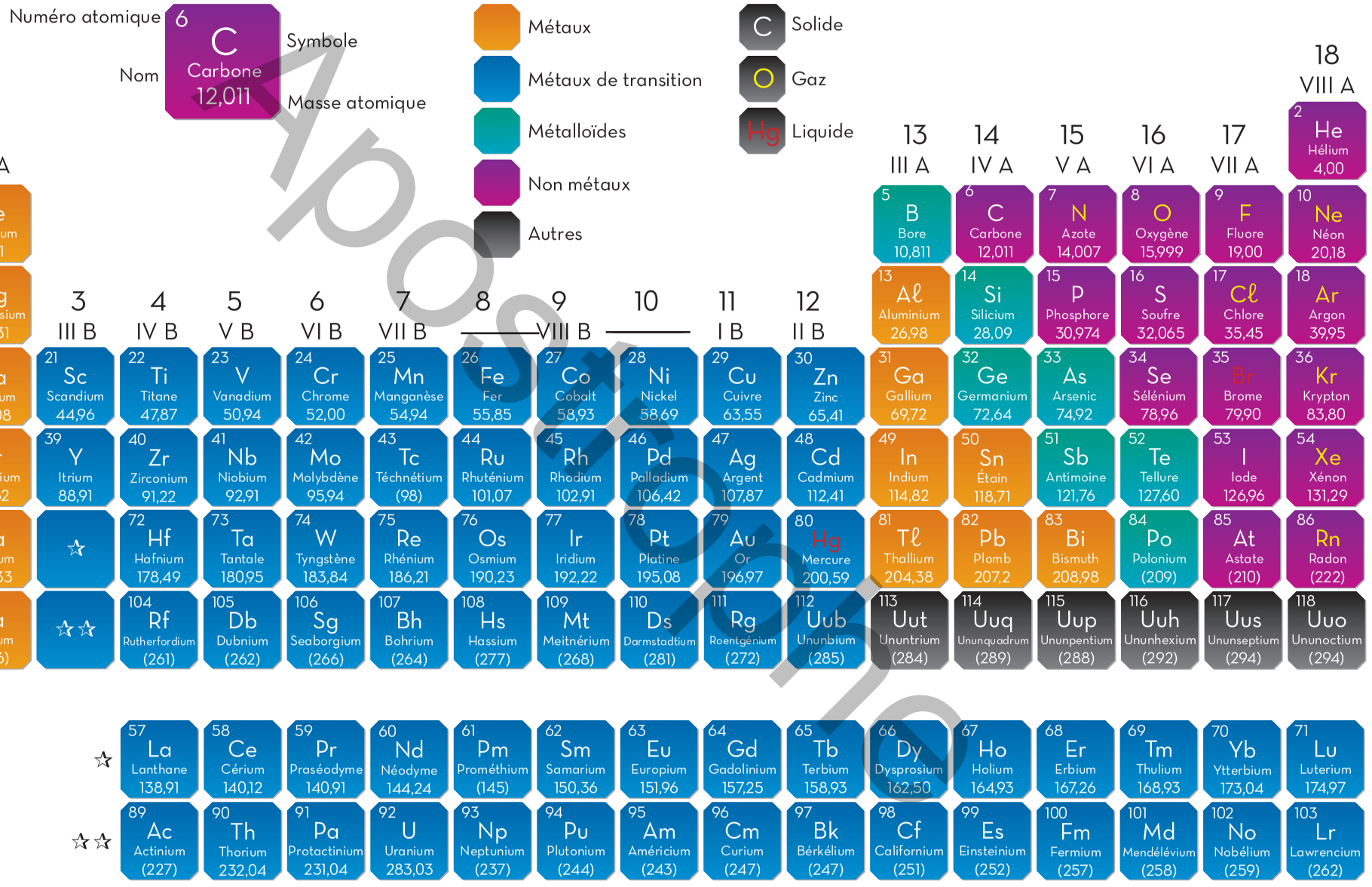
La période des oscillations d'un pendule pesant est donnée par la relation :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J_\Delta}{mgd}}$$

Relation	Équation aux dimensions
$T = 2\pi\sqrt{\frac{J_\Delta}{mgd}}$ $J_\Delta = \Sigma m_i r_i^2$	$\left[\sqrt{\frac{J_\Delta}{mgd}}\right] = ?$ $[J_\Delta] = M.L^2$ $\left[\sqrt{\frac{J_\Delta}{mgd}}\right] = \sqrt{\frac{ML^2}{M.LT^{-2}.L}} = T$

Apostrophe

Tableau périodique des éléments chimiques



Apostrophe