BLAISE PASCAL
PT 2022-2023

Révisions R1

Électronique

Ressources en ligne

Scanner ou cliquer sur les QR-code pour accéder aux ressources.

- **L'essentiel du cours sous forme de cartes mémo :** cartes réalisées par Christophe Cayssiols.

Cartes utilisables pour ce bloc de révisions : toutes celles du thème « électrocinétique » de première année.

- **Qmax : QCM d'applications directes du cours**

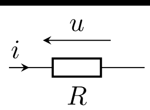
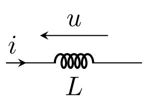
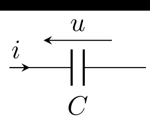
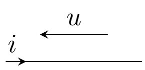
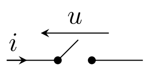
Choisir d'abord le mode « j'apprends » puis éventuellement le mode « je révise ». Ces QCM correspondent au programme de PCSI, certaines notions peuvent donc vous être inconnues : me demander en cas de doute.

Thèmes abordés dans ce bloc de révisions :
- ▷ Ondes et oscillateurs : oscillateur harmonique, oscillateurs amortis en régime libre ou forcé ;
- ▷ Électricité : tout

Rappels de cours

A - Dipôles modèles

- **Dipôles passifs**

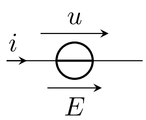
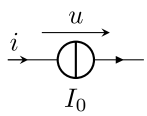
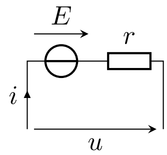
	Résistance	**Bobine**	**Condensateur**	**Fil ou interrupteur fermé**	**Interrupteur ouvert**
Symbole					
Loi de comportement	$u = Ri$	$u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$	$i = C\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$	$u = 0$, i qcq	$i = 0$, u qcq
Impédance Admittance	$\underline{Z_R} = R$ $\underline{Y_R} = \dfrac{1}{R}$	$\underline{Z_L} = \mathrm{j}L\omega$ $\underline{Y_L} = \dfrac{1}{\mathrm{j}L\omega}$	$\underline{Z_C} = \dfrac{1}{\mathrm{j}C\omega}$ $\underline{Y_C} = \mathrm{j}C\omega$	0 ∞	∞ 0
Équivalent basse fréquence Équivalent haute fréquence		Fil Interrupteur ouvert	Interrupteur ouvert Fil		
Énergie stockée	Aucune	$\dfrac{1}{2}Li^2$	$\dfrac{1}{2}Cu^2$	Aucune	Aucune
Grandeur continue	Aucune	i	u	Aucune	Aucune

▷ Les lois de comportement et les impédances complexes sont valables uniquement en convention récepteur. En convention générateur, il faut ajouter un signe.

▷ Les impédances complexes supposent le régime sinusoïdal forcé à la pulsation ω. Elles se démontrent à partir de la loi de comportement avec la correspondance $\mathrm{d}/\mathrm{d}t \leftrightarrow \times \mathrm{j}\omega$.

▷ La grandeur physique nécessairement continue est avant tout l'énergie stockée. On en déduit ensuite que pour une bobine, comme $\mathcal{E} \propto i^2$, alors i est continue, et de même pour un condensateur. Aux bornes des dipôles qui ne stockent pas d'énergie, i et u peuvent être discontinus.

- **Sources de courant et de tension**

	Source idéale de tension	Source idéale de courant	Générateur réel
Symbole			 modèle de Thévenin
Loi de comportement	$u = E$, i qcq	$i = I_0$, u qcq	$u = E - ri$

▷ La résistance interne r d'un GBF est par construction toujours égale à $50\,\Omega$ (sauf réglage particulier).

▷ Un générateur réel peut également être modélisé par la mise *en parallèle* de la résistance interne r avec une source idéale de courant : c'est le modèle de Norton (exercice classique mais pas à connaître).

B - Associations de dipôles

- **Association série**

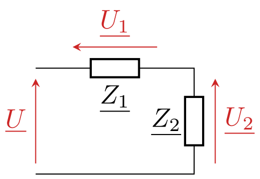
$$\underline{Z}_{\text{éq}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$$

- **Association parallèle**

$$\frac{1}{\underline{Z}_{\text{éq}}} = \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} \qquad \text{soit} \qquad \underline{Y}_{\text{éq}} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2$$

C - Lois de Kirchoff et conséquences utiles

- **Loi des mailles**

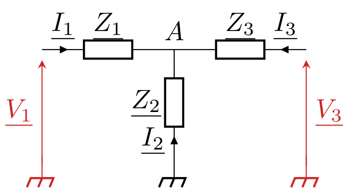


Loi des mailles : $\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$

Conséquence : pont diviseur de tension

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}} = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$

- **Loi des nœuds**



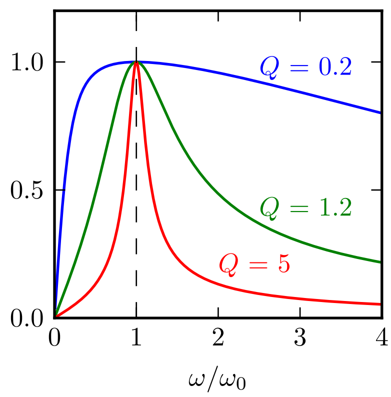
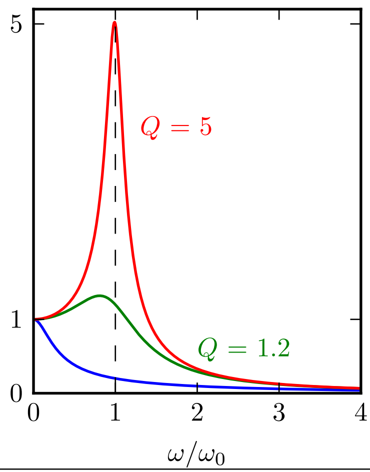
Loi des nœuds : $\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$

Conséquence : loi des nœuds en termes de potentiel (abordée en PT)

$$\frac{\underline{V}_1 - \underline{V}_A}{\underline{Z}_1} + \frac{0 - \underline{V}_A}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{V}_3 - \underline{V}_A}{\underline{Z}_3} = 0\,.$$

D - Synthèse sur les résonances

Rappelons qu'il existe **deux** types de résonance différents. Seules les trois premières lignes de ce tableau sont vraiment à savoir. Les informations indiquées dans les lignes suivantes, rappelées à titre indicatif, seront systématiquement à retrouver dans un exercice.

Exemple électronique Exemple mécanique	Résonance en intensité i Résonance en vitesse	Résonance en tension u_C Résonance en élongation
Existence	Toujours	uniquement si $Q > 1/\sqrt{2}$
Pulsation de résonance Largeur de la résonance	ω_0 $\Delta\omega = \dfrac{\omega_0}{Q}$	$\omega_{\text{res}} \lesssim \omega_0$ $\Delta\omega \simeq \dfrac{\omega_0}{Q}$
Aspects notables à $\omega = \omega_{\text{res}}$ Aspects notables à $\omega = \omega_0$	Maximum d'amplitude, Forçage et réponse en phase C'est la résonance !	Maximum d'amplitude, Aucune relation de phase Forçage et réponse en quadrature, Rapport des amplitudes égal à Q
Mesure de ω_0 Mesure de Q	Pulsation de résonance Largeur de la résonance	Quadrature de phase Rapport des amplitudes à ω_0 ou largeur de la résonance
Courbe de gain (échelle linéaire)		

Questions de cours

Seuls les étudiants du groupe PT⋆ seront interrogés en colle sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

R1.1 - Circuit RC série alimenté par une tension constante $E = 5\,\text{V}$: établir l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ et l'écrire sous forme canonique. La résoudre en posant $u_C(t=0) = U_0 = -2\,\text{V}$. Représenter qualitativement la courbe u_C en fonction du temps.

R1.2 - Circuit RC série en régime sinusoïdal forcé par une tension harmonique $e(t) = E_\text{m}\cos(\omega t)$: déterminer $u_C(t)$ sous la forme $u_C(t) = U_{C,\text{m}}\cos(\omega t + \varphi)$.

> ***Éléments de réponse :*** *par un pont diviseur de tension,*
>
> $$\underline{U_C} = \frac{1/jC\omega}{R + 1/jC\omega}\underline{E} = \frac{1}{1 + jRC\omega}\underline{E}\,.$$
>
> *Par définition de la représentation complexe,*
>
> $$U_{C,m} = \left|\underline{U_C}\right| = \frac{E_m}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}} \qquad \text{et} \qquad \varphi = \arg \underline{U_C} = -\arg(1 + jRC\omega) + \arg \underline{E} = -\arctan(RC\omega)$$

R1.3 - Circuit RC série en régime sinusoïdal forcé : la tension aux bornes du condensateur vérifie l'équation différentielle

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}u_C = \frac{E_\mathrm{m}}{\tau}\cos(\omega t)\,.$$

Établir la relation de récurrence donnée par le schéma d'Euler explicite appliqué à cette équation, puis compléter le code ci-dessous permettant de déterminer numériquement $u_C(t)$ en supposant $u_C(t{=}0) = -2\,\mathrm{V}$.

```python
import numpy as np

tau = 1e-3      # en s
Em = 2          # en V
w = 2 * np.pi * 1e3    # pulsation, en rad.s-1

dt = 2e-5       # pas de temps, en s
N = 500         # nbre de pas de temps

t = [n*dt for n in range(N)]      # tps, en s
```

> ***Éléments de réponse :*** *Par application du schéma d'Euler explicite, on trouve*
>
> $$\frac{u_{n+1}-u_n}{\Delta t} + \frac{1}{\tau}\,u_n = \frac{E_\mathrm{m}}{\tau}\,\cos(\omega t_n) \qquad \text{soit} \qquad u_{n+1} = u_n + \frac{\Delta t}{\tau}\,(E_\mathrm{m}\cos(\omega t_n) - u_n)\;.$$
>
> *Les lignes de code manquantes peuvent être les suivantes :*
>
> ```python
> u = [None for n in range(N)]   # tension condensateur, en V
> u[0] = -2                      # cond initiale u(0) = -2 V
>
> for n in range(N-1):
>     u[n+1] = u[n] + dt/tau * ( Em * np.cos(w*t[n]) - u[n] )
> ```
>
> *... mais d'autres codes sont possibles, en particulier définir au préalable une liste contenant les valeurs prises par la tension d'entrée aux différents instants t_n.*

R1.4 - Filtre RC passe-bas : établir la fonction de transfert et construire le diagramme de Bode en gain. Le diagramme de Bode doit être justifié (asymptotes), et pas seulement construit par cœur.

(★) R1.5 - Circuit RLC série alimenté par une tension constante E : établir l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ et l'écrire sous forme canonique. Lister sans démonstration les différentes formes que peuvent prendre ses solutions en fonction de la valeur du facteur de qualité.

(★) R1.6 - Circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé par une tension harmonique $e(t) = E_\mathrm{m}\cos(\omega t)$: établir la fonction de transfert en courant (qui est ici l'admittance $\underline{Y} = \underline{I}/\underline{E}$). Établir l'expression de la pulsation de résonance et rappeler sans démonstration le lien entre la largeur de la résonance et le facteur de qualité.

> ***Éléments de réponse :*** *l'admittance du montage complet s'écrit*
>
> $$\underline{Y} = \frac{1}{R + \mathrm{j}L\omega + \dfrac{1}{\mathrm{j}C\omega}} = \frac{1}{R + \mathrm{j}\left(L\omega - \dfrac{1}{C\omega}\right)}\,.$$
>
> *Il y a résonance en courant lorsque le module de l'admittance est maximal, c'est-à-dire lorsque le module du dénominateur est minimal. La partie réelle étant indépendante de ω, ce minimum est atteint lorsque la partie imaginaire est nulle. On retrouve alors la pulsation de résonance bien connue $\omega_\mathrm{r} = 1/\sqrt{LC}$.*
>
> *Rappelons aussi que la bande passante (= largeur) de la résonance est reliée au facteur de qualité par*
>
> $$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} \qquad \Longleftrightarrow \qquad \Delta f = \frac{f_0}{Q}$$

R1.7 - Filtre RLC série : lorsque l'on prend la sortie aux bornes de la résistance, la fonction de transfert s'écrit

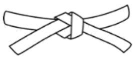
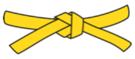
$$\underline{H} = \frac{1}{1 + \mathrm{j}Q\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

Identifier la nature du filtre à partir de la fonction de transfert. Tracer le diagramme de Bode asymptotique en gain en justifiant, puis l'allure du diagramme réel pour $Q = 0{,}1$ et $Q = 100$.

> ***Éléments de réponse :*** *Le tracé du diagramme réel demande de calculer la valeur* **exacte** *de $\underline{H}$ puis du gain en $\omega = \omega_0$.*

Pour s'entraîner

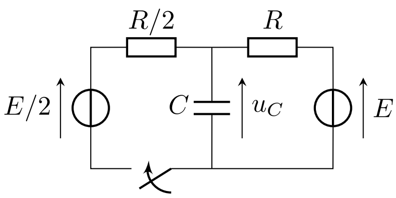
- Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
- Difficulté technique et calculatoire ;
- Exercice important.

Ceinture		Proposition de parcours d'entraînement
	Ceinture blanche	Questions de cours + exercices 1 (sauf Q4), 4 et 6
	Ceinture jaune	Questions de cours + exercices 1 (sauf Q4), 3, 4 et 6
	Ceinture rouge	Questions de cours (★) + exercices 1, 3, 5 et 7
	Ceinture noire	Questions de cours (★) + exercices 2, 3, 5 et 7

Flasher ce code pour accéder au corrigé

Exercice 1 : Condensateur alimenté par deux générateurs — oral CCINP MP | 2 | 1 |

▷ *Équation différentielle du premier ordre ;*
▷ *Puissance électrique.*



Dans le montage ci-contre, l'interrupteur est fermé à l'instant $t = 0$.

1 - Établir l'équation différentielle vérifiée par u_C.

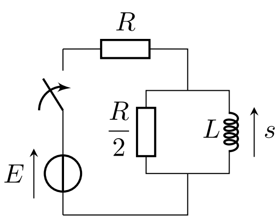
2 - Résoudre cette équation.

3 - Déterminer le temps t_1 nécessaire pour que la valeur finale soit atteinte à 1 % près.

4 - (Plus difficile et moins important) Exprimer la puissance dissipée. Interpréter sa valeur finale.

Exercice 2 : Circuit RL à deux mailles — oral Mines-Télécom PSI | 3 | 2

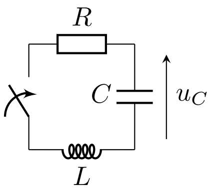
▷ *Équation différentielle du premier ordre ;*
▷ *Recherche de condition initiale.*



L'interrupteur est fermé à l'instant $t = 0$. Étudier l'évolution de $s(t)$ et tracer sa courbe.

Exercice 3 : RLC série en régime libre oral CCINP PSI | 1 | 2

- *Équation différentielle du second ordre ;*
- *Montage expérimental.*

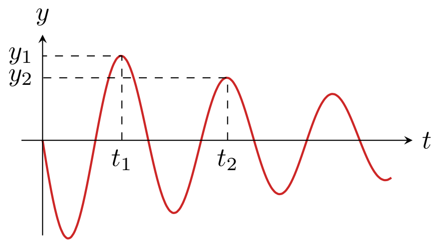


On étudie le circuit ci-contre où le condensateur est initialement chargé : $u_C(t=0) = U_0$.

1 - Déterminer les valeurs de i, de u_C et de u_L à la fermeture du circuit en $t = 0^+$, puis en régime permanent pour $t \to \infty$.

2 - Parmi ces grandeurs, laquelle correspond à y représentée ci-contre ? Comment doit-on procéder pour la mesurer ? Indiquer sur le schéma les branchements de l'oscilloscope.

3 - Déterminer l'équation différentielle vérifiée par le courant i en fonction de $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ et $m = R/2L\omega_0$.

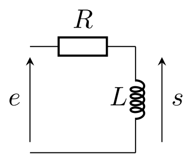


4 - On suppose $m < 1$. Déterminer la solution en fonction de $\Omega = \omega_0\sqrt{1-m^2}$. Que représente Ω ? Comment peut-on l'évaluer à partir de la courbe ?

5 - En utilisant des approximations adéquates, trouver une relation simple entre le rapport y_1/y_2 et m.

Exercice 4 : Filtre RL 1 | 1 |

- *Fonction de transfert ;*
- *Diagramme de Bode ;*
- *Signal de sortie d'un filtre.*



On considère le circuit ci-contre avec $R = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$ et $L = 10\,\mathrm{mH}$.

1 - Quel type de filtre ce circuit permet-il de réaliser ?

2 - Déterminer sa fonction de transfert et l'écrire sous la forme

$$\underline{H} = H_0 \frac{\mathrm{j}\frac{\omega}{\omega_\mathrm{c}}}{1+\mathrm{j}\frac{\omega}{\omega_\mathrm{c}}}.$$

3 - Déterminer les pentes des asymptotes en gain dans les limites haute et basse fréquence, ainsi que leur ordonnée « à l'origine » en $x = 1$. Construire le diagramme de Bode asymptotique en gain sur la figure 1 et en déduire l'allure du diagramme réel.

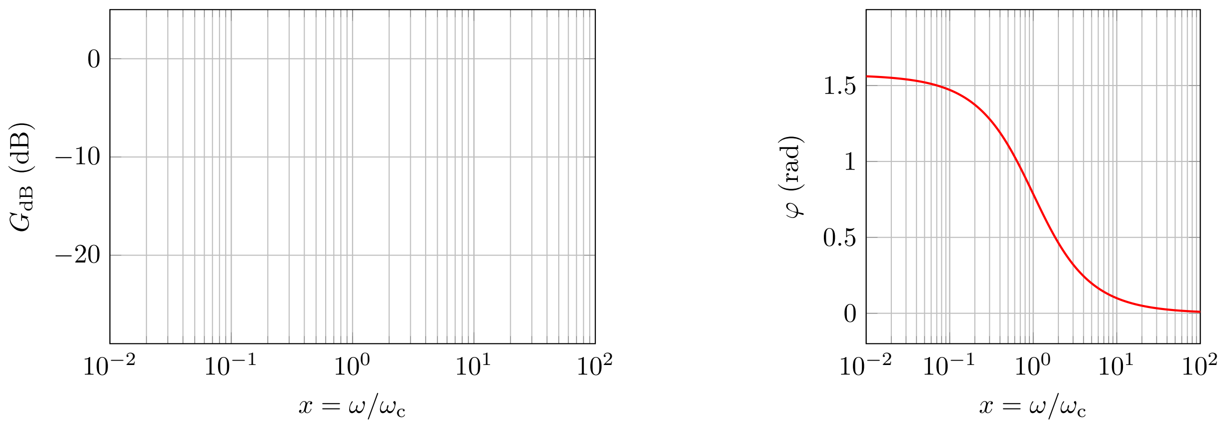


Figure 1 – Diagramme de Bode du filtre RL.

4 - La tension e s'écrit sous la forme d'une somme de trois harmoniques de même amplitude, de même phase initiale, et de fréquences respectives $f_1 = 100\,\mathrm{Hz}$, $f_2 = 1\,\mathrm{kHz}$ et $f_3 = 100\,\mathrm{kHz}$. Donner la forme du signal d'entrée e puis du signal de sortie s.

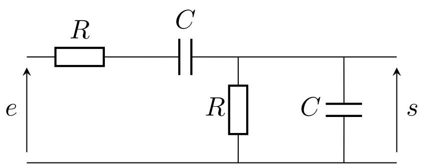
5 - La tension $e(t)$ est maintenant un signal triangle de fréquence $60\,\mathrm{Hz}$. Justifier que $s(t)$ est un signal créneau de même fréquence.

Étienne Thibierge, 14 août 2022, www.etienne-thibierge.fr

Exercice 5 : Filtre de Wien

oral banque PT | 2 | 2

▷ *Fonction de transfert ;*
▷ *Diagramme de Bode ;*
▷ *Signal de sortie d'un filtre.*



On s'intéresse au filtre de Wien représenté ci-contre.

1 - Par analyse des comportements asymptotiques, déterminer le type de filtre dont il s'agit.

2 - Déterminer la fonction de transfert $\underline{H}$ du filtre.

3 - On pose $\omega_0 = 1/RC$ et $x = \omega/\omega_0$. Écrire la fonction de transfert sous la forme

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + \mathrm{j}Q\left(x - \dfrac{1}{x}\right)},$$

en précisant ce que valent H_0 et Q.

4 - Calculer simplement le gain maximal du filtre, exprimer sa valeur de dB, et calculer le déphasage correspondant.

5 - Représenter le diagramme de Bode asymptotique du filtre et en déduire qualitativement le tracé réel.

6 - Calculer la pulsation propre ω_0 pour $R = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$ et $C = 500\,\mathrm{nF}$. Donner le signal de sortie du filtre si le signal d'entrée est

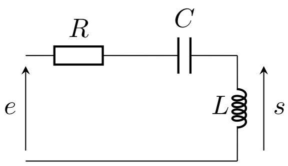
$$e(t) = E_0 + E_0\cos(\omega t) + E_0\cos(10\,\omega t) + E_0\cos(100\,\omega t)$$

avec $E_0 = 10\,\mathrm{V}$ et $\omega = 200\,\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$.

Exercice 6 : Filtre passe-haut d'ordre 2

1 | 1 |

▷ *Fonction de transfert ;*
▷ *Diagramme de Bode.*



1 - Justifier que ce filtre est un filtre passe-haut. Définir sa pulsation caractéristique ω_0 et son facteur de qualité Q.

2 - Déterminer sa fonction de transfert et l'écrire sous la forme

$$\underline{H} = \frac{\mathrm{j}Qx}{1 + \mathrm{j}Q\left(x - \frac{1}{x}\right)} \qquad \text{avec} \qquad x = \frac{\omega}{\omega_0}.$$

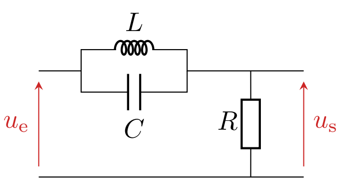
3 - Déterminer la pente des asymptotes du diagramme de Bode en gain. Tracer qualitativement son allure en supposant que le facteur de qualité est tel que le circuit n'est pas résonant.

4 - Ce filtre peut-il avoir un comportement dérivateur ? intégrateur ?

Exercice 7 : Filtre réjecteur

oral banque PT | 2 | 3

▷ *Fonction de transfert ;*
▷ *Bande passante.*



La tension u_e est issue d'un appareil de mesure, mais se trouve parasitée par un bruit à $50\,\mathrm{Hz}$ due à la tension d'alimentation de l'appareil. On souhaite l'éliminer à l'aide du filtre schématisé ci-contre.

1 - Montrer que ce filtre n'est ni un passe-haut, ni un passe-bas, ni un passe-bande.

2 - Déterminer sa fonction de transfert. Que vaut-elle en $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$? Commenter le nom du montage.

3 - On dispose d'une bobine d'inductance $1\,\mathrm{H}$. Quel condensateur faut-il choisir ?

4 - Pour améliorer la sélectivité du filtre, est-il préférable de choisir $R = 25\,\Omega$ ou $R = 250\,\Omega$?