# LP.26 Régimes transitoires

Léo

**Elément imposé –** Amortissement

**Niveau :** L1
**Pré-requis :**
- Signaux physiques (transmission de l'information, signaux périodiques (L1)
- Dipoles linéaires et relations (résistance, condensateur, bobine) (L1)
- Circuits linéaires en ARQS, Kirchoff (loi des mailles loi des noeuds) (L1)
- Lien énergie/ puissance (secondaire)
- Polynomes du second degré (secondaire)

**Difficultés :**
- Très calculatoire
- Distinguer les différents régimes

**Activité :**
- TD : Circuit RL (equations, grandeurs caractéristiques, bilan énergétique) avec résolution en courant
- TD : Circuits complexes (plusieurs branches) à mettre en équation
- TD : Etude analogue de système oscillateur harmonique amorti (frottement) : amortisseur de voiture
- TP RLC

**Biblio :**
- Electronique Perez
- 1001 questions physique Garing
- BCPST1 Bresson

# Plan proposé

# Intro pédagogique

Circuit RC vu dans des filières de terminale, mais pas dans toutes. Première partie = retour sur RC, avec ajout de nouvelles notions et bilan d'énergie, pour aborder sereinement le RLC

Séquence pédagogique : après études de dipoles et Kirchoff, avant Sinusoidale forcé (permanent)

Objectifs :
— comprendre les principales notions sur les régimes transitoires
— savoir mesurer des grandeurs expérimentalement
— savoir faire des bilans énergétiques
— savoir distinguer les cas des régimes critique/pseudo-périodique/apériodique (avec leurs caractéristiques, et par le calcul)

# Leçon

## Intro

Un système initialement dans un état stable, auquel on impose de nouvelles conditions à un instant t donné, évolue dans un premier temps dans un régime dit transitoire, lui permettant d'atteindre un nouvel état stable, correspondant au régime dit établi (ou permanent).

Exemples :
— Chauffage dans une maison : Régime stationnaire
— Marteau piqueur : Régime variable et périodique

Analogie électrocinétique, ces régimes sont forcés (différents de libre)

On va étudier les régimes transitoires de différents circuits, qui donnera la méthode pour tout type de circuit

## 1 Circuit du premier ordre : le RC

### 1.1 Mise en place et résolution de l'équation

[Tracé du circuit]

On met en équation le RC [diapo] avec cette méthode :

1. On applique les **lois de Kirchoff** (et dérivées) : loi des mailles, loi des noeuds, pont diviseur de tension, etc
2. On utilise les **relations courant/tension des dipoles**, et on les substitue dans l'équation $[RC\frac{dUc}{dt} + \frac{Uc}{\tau} = \frac{E}{\tau}]$
3. On met sous **forme canonique** pour déterminer les grandeurs caractéristiques

Ici, RC = $\tau$ temps caractéristique (par analyse dimensionnelle de l'équation)

On résout cette équation du premier ordre avec une solution de la forme $u_c(t) = u_{c,h}(t) + u_{c,p}(t)$ avec

— $u_{c,h}(t)$ solution de l'équation homogène (sans second membre). Pour un premier ordre : $u_{c,h}(t) = Cte \times exp(-\frac{t}{\tau})$. D'un point de vue physique, comme le système est réel, il y aura dissipation d'énergie, donc $u_{c,h}(t)$ tend vers 0

— $u_{c,p}(t)$ solution particulière, qui aura la même forme que l'excitation, ici $u_{c,p}(t) = E$

Ca donne comme fonction du régime transitoire : $u_c(t) = Cte \times exp(-\frac{t}{\tau}) + E$

On détermine la constante avec la **continuité aux bornes des dipoles** : ici continuité de la tension aux bornes du condensateur : en 0 $u_c = Cte + E = 0$ donc Cte = -E

Solution finale : $u_c(t) = E(1 - exp(-\frac{t}{\tau}))$

On peut facilement déterminer i(t) avec la relation U/I du condensateur

## 1.2 Tracé et utilisation des graphiques

[Visualisation Oscillo + diapo]

On peut déterminer graphiquement $\tau$. Deux méthodes principales :

— Tangente à la courbe courbe l'axe de la valeur initiale en t=$\tau$

— Valeur à 95%, atteinte à t=$3\tau$

Fin du régime transitoire ? Dépendant de la précision souhaitée : à 95% c'est 3 $\tau$ (exactement), pour 99% (c'est à dire à moins d'1% d'écart de la valeur finale) il faut t> $5\tau$.

## 1.3 Bilan énergétique

On sait que la puissance d'un dipole est P=UI

Ici, les grandeurs varient au cours du temps. Pour faire un bilan en énergie, on va sommer = intégrer au cours du temps

On note les énergies W (pour ne pas confondre avec la tension E)

— Énergie fournie : $\mathrm{W_e} = \int_0^\infty \mathrm{E} \times \mathrm{i(t)dt} = \mathrm{E} \int_0^{\mathrm{CE}} \mathrm{dq} = \mathrm{CE^2}$

— Effet Joule : $\mathrm{W_J} = \int_0^\infty -\mathrm{Ri(t)^2dt} = \int_0^\infty -\frac{\mathrm{E^2}}{\mathrm{R}}\mathrm{exp}(-\frac{2\mathrm{t}}{\tau})\mathrm{dt} = -\frac{\mathrm{E^2}}{\mathrm{R}} \times \frac{\tau}{2} = -\frac{\mathrm{CE^2}}{2}$

La moitié de l'énergie est perdue en effet Joule, l'autre moitié est stockée par le condensateur (vous pouvez faire les calculs similaires)

**Décharge, régime libre :** Si on enlève le générateur de tension après le régime continu, on se place en régime libre. On observe la décharge du condensateur. Si on fait les mêmes calculs énergétiques, on retrouve que toute l'énergie du condensateur est dissipée en effet Joule : à la fin on a bien un système déchargé

# 2 Oscillateur amorti : circuit du second ordre, le RLC

## 2.1 Mise en équation

Circuit RLC, toujours avec la même méthode :

$$E = U_r + U_c + U_L$$
$$i = C\frac{dU_c}{dt} \text{ et } U_L = L\frac{di}{dt}$$
$$\text{On obtient } LC\frac{d^2U_c}{dt^2} + RC\frac{dU_c}{dt} + U_c = E\text{, soit } \frac{d^2U_c}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{LC} = \frac{E}{LC}$$

**La forme canonique est :** $\frac{d^2U_c}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q}\frac{dU_c}{dt} + \omega_0^2 u_c = 0$

Avec Q facteur de qualité (sans dimension) et $\omega_0$ pulsation propre du système.

Ici, $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ et $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

Q est lié au **facteur d'amortissement m :** $m = \frac{1}{2Q}$

## 2.2 Etude des différentes solutions

On a obtenu une équation du second ordre, donc on étudie le déterminant :
$\Delta == \frac{\omega_0^2}{Q^2}(1-4Q^2)$, avec trois possibilités suivant la valeur de Q :
- Q<1/2 (donc m élevé, m>1, donc un fort amortissement), $\Delta > 0$ donc 2 racines réelles : **régime apériodique**
- Q>1/2 (m<1), $\Delta < 0$ donc 2 racines complexes : **régime pseudo-périodique**
- Q=1/2, m=1, $\Delta = 0$, une solution double : **régime critique**

[Tableau différents régimes]

**Décrément logarithmique et mesure :** Dans le cas pseudo-périodique, on définit le Décrément logarithmique comme $\delta = ln(\frac{u(t)-u_\infty}{u(t+T)-u_\infty})$, avec T la pseudo-période

Lien avec Q : $u(t+T) = u(t) \times e^{-\delta}$. Or par comparaison avec la formule $e^{-\delta} = e^{-\frac{\omega_0}{2Q}T}$. Donc $\delta = \frac{\omega_0}{2Q}T$.

En pratique, si on se met à Q grand (valable pour quelques unités), alors $\omega \simeq \omega_0$ et T$\simeq T_0$

Donc dans cette approximation : $\delta \simeq \frac{\omega_0 T_0}{2Q} \simeq \frac{2\pi}{2Q} = \frac{\pi}{Q}$

On a mesurer plusieurs $\delta$ [courbe], et on a fait des incertitudes de type A : Q = 3.44 $\pm 0.02$

### 2.3 Analogie mécanique

Comparaison ressort amorti

## Conclusion

Ce qu'on a vu pour des systèmes classiques, ça s'étudie pour des systèmes plus complexes, et pas qu'en électrocinétique

# Questions/Réponses

| **Questions** | **Réponses** |
|---|---|
| *Qu'est ce que l'ARQS et par quoi cela se traduit ?* | indépendance par rapport au temps, se voit dans les équations de Maxwell |
| *Pourquoi on peut appliquer l'ARQS sur les circuits qu'on utilise ?* | |
| *Ton créneau va de -E à +E est-ce un problème ?* | |
| *Dans quelles autres discipline on parle de temps de réponse et d'oscillateurs ?* | mécanique, sciences de l'ingénieur |
| *ABAC de temps de réponse pour un système d'ordre 2 ?* | |
| *Dans quel cas on utilise Q plutôt que le facteur d'amortissement ?* | une pendule où on veut que l'oscillateur soit très périodique donc Q grand. |
| *Contexte de facteur d'amortisseur standart ?* | amortisseur mécanique, amortit les oscillations de la route, doit être élevé |
| *Est-ce qu'il existe des régimes transitoires non linéaires* | pour des dipoles non linéaires par exemple la diode, sinon pont de Wien oscillateur non linéaire. |

# Remarques :

ARQS (approximation des régimes quasi-stationnaires) : négliger les phénomènes de propagation, et donc i dans un circuit est identique en tout point au i dans la même branche du circuit

Dipole linéaire : Tension à ses bornes et intensité du courant électronique qui le traversent sont liés par une relation linéaire

Continuité de la tension aux bornes d'un condensateur : énergie électromagnétique d'un système physique macro ne peut subir de discontinuité, or pour le condensateur E = C u$_c^2$/2, donc uc continu

RLC : C = 100nF, R=39 Ohm, L=11.36 mH, f=200 Hz

RC : C = 100 nF, R = 50000 Ohm

ARQS electrique : $\vec{rot}(\vec{E}) = \vec{0} \;\; div(\vec{E}) = 0$

ARQS magéntique : $\vec{rot}(\vec{B}) = \vec{0} \;\; div(\vec{B}) = 0$

Les oscillateurs à quartz ont un Q élevé (de l'ordre de 9 $10^5$)

# Debrief

Facteur d'amortissement se note plutôt $\xi$ pas m. Faire un truc plus appliqué et SI (ABAQUES) que juste le RLC.

Montrer les différents régimes avant les équations