Préparation_2 concours blanc

PROBLÈME 1: Étude d'un appareil photographique *(barème sur 50 points)*

Formules de conjugaison de Descartes

Soit un objet AB orthogonal à l'axe optique et tel que A est un point de l'axe optique . Si A'B' est son image par la lentille supposée mince de centre O :

- Les distances **algébriques** $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$ sont données par la relation : $\dfrac{1}{\overline{OA'}}-\dfrac{1}{\overline{OA}}=\dfrac{1}{f'}$
- Les dimensions **algébriques** $\overline{AB}$ et $\overline{A'B'}$ sont données par le grandissement transversal: $G_T=\dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Préliminaire : image à travers une lentille mince .

1. Sur différents schémas réalisés sur votre copie en envisageant plusieurs cas si nécessaire :

1.1. Construire l'image A_2B_2 que donne une lentille mince convergente d'un objet A_1B_1 situé avant le foyer principal objet de la lentille. Quelle est la nature de A_2B_2 ?

1.2. Construire l'image A_2B_2 que donne une lentille mince convergente d'un objet A_1B_1 situé après le centre optique de la lentille. Quelle est la nature de A_2B_2 ?

1.3. Construire l'image A_2B_2 que donne une lentille mince divergente d'un objet AB situé après le foyer principal objet de la lentille. Quelle est la nature de A_2B_2 ?

Objectif constitué d'une lentille

On assimile l'objectif d'un appareil photographique à une lentille (L) mince convergente unique de centre O_1 et de focale f_1' = 50 mm. La distance d entre la lentille (L) et l'écran (E) où se trouve le capteur photosensible est variable, et cette variation constitue la mise au point.

2. On désire photographier des objets dont la distance à l'appareil photographique varie de x à l'infini. Dans quel domaine doit pouvoir varier d ? On notera d_{min} et d_{max} les deux valeurs de d correspondantes ; On donnera leurs expressions en fonction de f_1' et x, puis on les calculera en mm pour x = 60 cm.

3. On se propose de photographier une tour de hauteur h = 50 m et située à une distance D = 2 km du photographe.

- Exprimer la hauteur h_1 de l'image de la tour sur le capteur en fonction des données de l'énoncé puis faire l'application numérique.
- Quel est l'encombrement ***E*** de l'objectif, c'est-à-dire la distance de l'objectif au capteur ?

4. Avec le même objectif, l'objet photographié est maintenant à la distance D' = 1m de l'objectif. Pour que l'image soit nette, il faut modifier la distance capteur-lentille par rapport à la photographie d'un objet très éloigné. Exprimer la distance dont il faut déplacer le capteur par rapport au réglage précédent en fonction de D' et f_1'. La calculer. La distance lentille-capteur a-t-elle augmentée ou diminuée ?

Objectif constitué de 2 lentilles

Un objectif de meilleur qualité est obtenu en ajoutant une lentille mince L_2 de centre O_2 et de distance focale f_2'= -25 mm à la distance e = 31mm de O_1.

On photographie de nouveau la tour AB de hauteur h = 50 m et située à la distance D = 2 km du photographe. Soit A_1B_1 l'image de la tour AB par L_1 et A'B' l'image définitive de AB sur le capteur.

5. Établir l'expression de $\overline{O_2A_1}$ en fonction des données, puis faire l'application numérique. Quelle est la nature de l'image intermédiaire A_1B_1 pour la lentille L_2. Établir l'expression de $\overline{F_2A_1}$ en fonction des données, puis faire l'application numérique.

6. Faire une construction à l'échelle pour l'axe des abscisses permettant d'obtenir l'image définitive à travers les deux lentilles.

7. Déterminer la position de l'image définitive A'B' par rapport à O_2, puis sa taille h_2 sur le capteur en fonction de h, f_1',f_2' ,D et e. Faire l'application numérique.

8. Déterminer littéralement puis numériquement l'encombrement **E'** de l'objectif constitué des 2 lentilles.

9. Comparer les 2 objectifs étudiés.

10. Quelle serait la distance focale *f'* d'une lentille unique convergente qui donnerait une image de hauteur h_2 de la tour de hauteur h toujours à la distance D? Commenter l'encombrement correspondant.

PROBLÈME 2 : Super condensateur et stockage *(barème sur 70 points)*

Supercondensateur de capacité C=3,0.10³ F commercialisé par le fabriquant Maxwell

L'utilisation d'un système de stockage d'énergie est souvent nécessaire pour les applications de type traction électrique. Le composant de stockage est utilisé :

- *Dans les systèmes isolés où il alimente des dispositifs demandant une énergie réduite ;*
- *Dans les systèmes hybrides où il joue un rôle en terme d'apport de puissance ou d'énergie en phase de freinage ou d'accélération.*

Jusqu'à présent, les systèmes les plus utilisés sont les accumulateurs qui ont une puissance spécifique et une autonomie élevée. Les condensateurs classiques ont une autonomie insuffisante, mais possèdent une puissance spécifique incomparable. Les supercondensateurs apparaissent comme des composants intermédiaires en terme de propriétés énergétiques qui les rendent très intéressants car ils n'ont pratiquement pas de concurrents dans ce domaine.

Première partie: Mesure de la capacité d'un condensateur

On souhaite dans cette partie mesurer expérimentalement la capacité C d'un condensateur. Une méthode consiste à soumettre le dipôle { condensateur de capacité C + conducteur ohmique de résistance R } série à un échelon de tension et d'analyser la réponse temporelle de ce dipôle à une excitation.

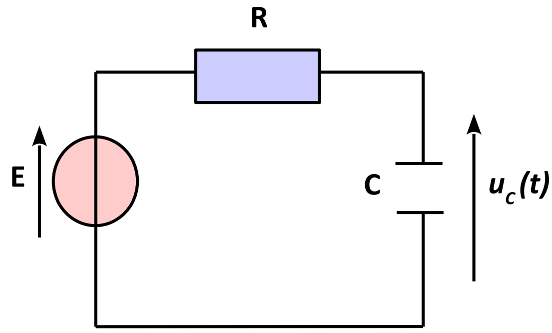


Schéma du circuit réalisé

Le condensateur est initialement déchargé et le conducteur ohmique a une résistance $R=1{,}00\pm0{,}01\,k\Omega$.

A l'instant de date t=0, le dipôle {RC} est soumis à une tension constante E. Un système d'acquisition permet d'enregistrer tous les $\Delta t=0{,}10\,ms$ la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.

On obtient le graphe $u_{C,exp}(t)=f(t)$ suivant. La courbe de réponse obtenue permet raisonnablement de suggérer un comportement du 1er ordre.

1. Établir en détaillant bien les différentes étapes de votre raisonnement, l'équation différentielle satisfaite par $u_C(t)$.

Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme : $\dfrac{d\,u_C(t)}{dt}+\dfrac{u_C(t)}{\tau}=\dfrac{E}{\tau}$.

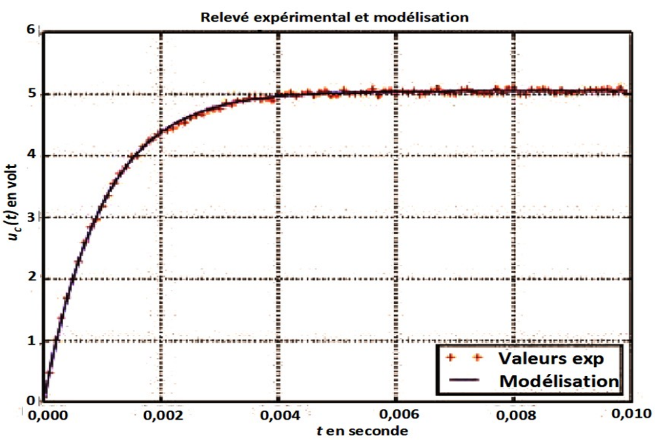
2. Comment nomme-t-on τ ? quelle est sa signification physique ?

3. Résoudre l'équation précédente.

4. Déterminer à l'aide du relevé expérimental fourni une estimation de τ et E. Bien expliquer votre raisonnement.

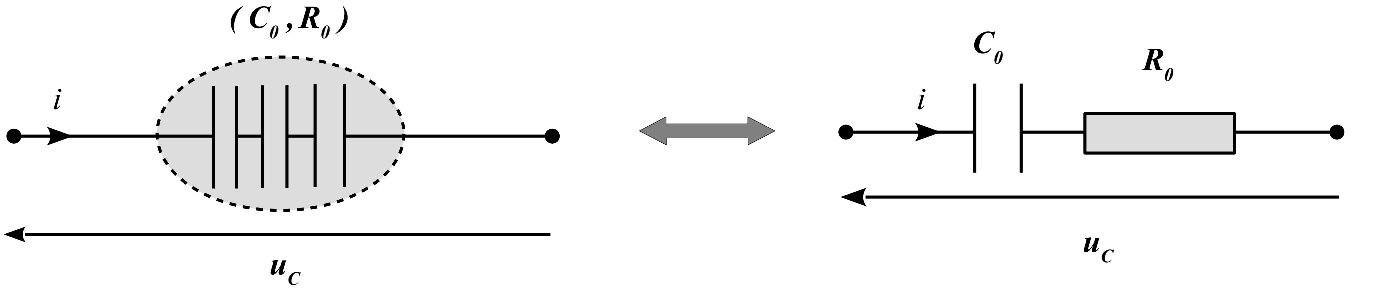
5. En déduire une estimation de la capacité C du condensateur.

6. Montrer qu'au cours de la charge du condensateur l'énergie électrique fournie par le générateur est pour moitié stockée dans le condensateur et pour moitié perdue par effet joules.



Deuxième partie: Modélisation des supercondensateurs

Un modèle électrocinétique modélisant le comportement du supercondensteur consiste à l'assimiler à l'association série d'un conducteur ohmique de résistance R_0 et d'un condensateur de capacité C_0 :



On soumet le supercondensateur, initialement chargé sous la tension U_a , à une impulsion de courant d'intensité I=100A constante pendant la durée $\Delta t = 10 s$ à partir de la date t=0. Avant cette date le courant est nul dans le circuit.

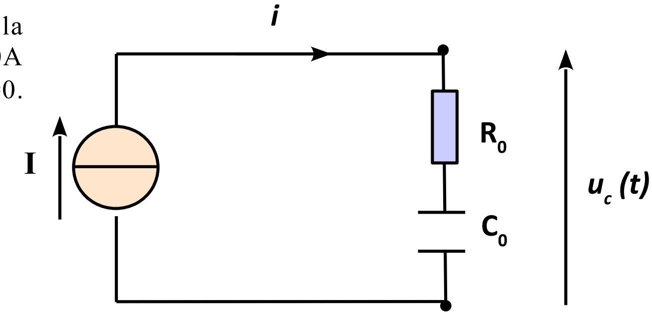
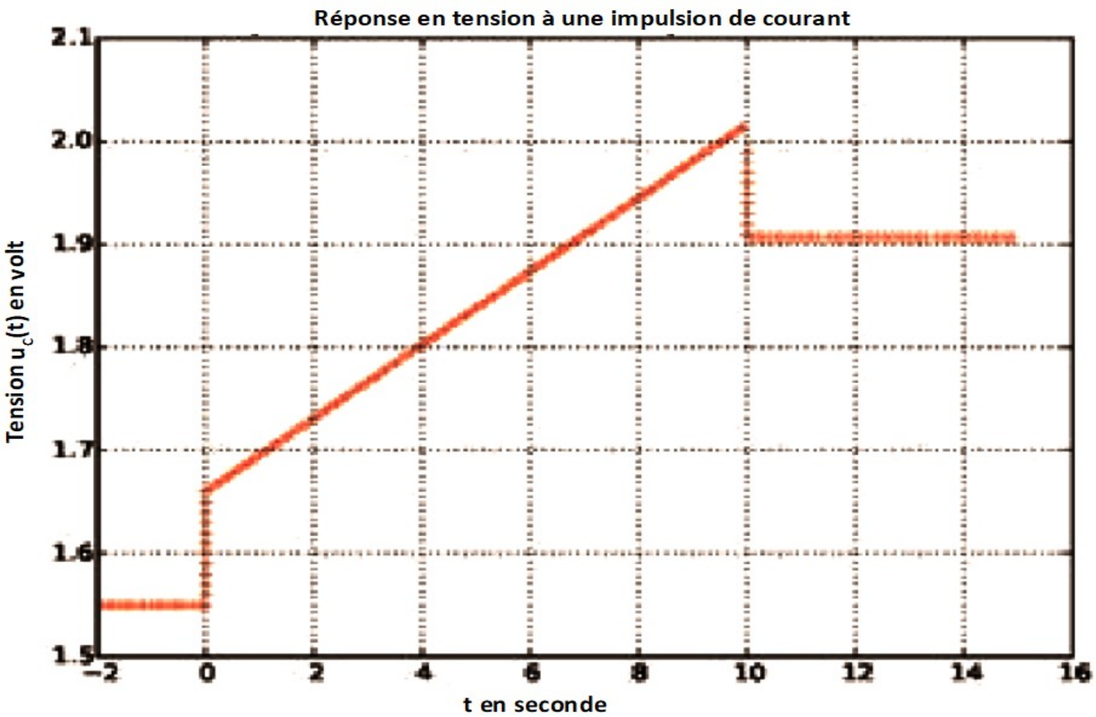


Schéma du circuit réalisé

On obtient le relevé de tension $u_{C,exp}(t) = f(t)$ suivant.



7. En expliquant clairement votre démarche, donner à partir du relevé expérimental une estimation de U_a.

8. En considérant le circuit, montrer que, pendant la phase de charge à courant constant, $u_C(t)$ peut se mettre sous la forme : $u_C(t) = \alpha\ t + \beta$. On exprimera α et β en fonction de I , C_0 , R_0 et U_a .

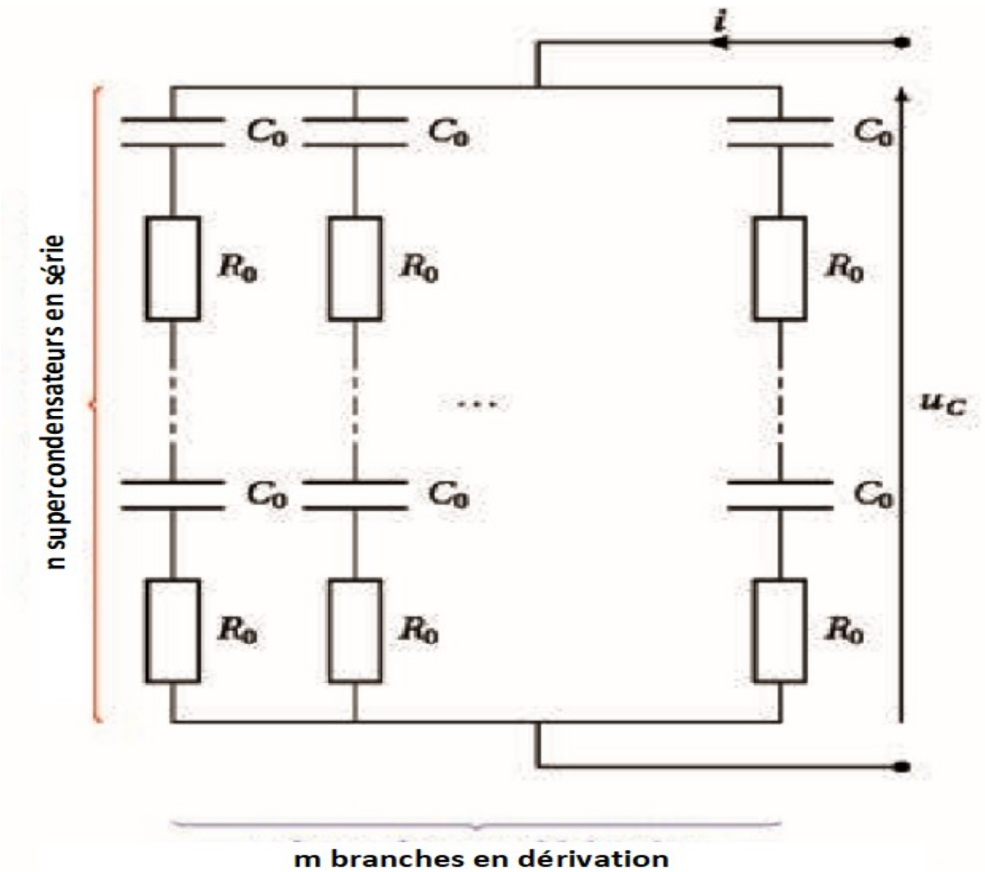
9. En expliquant clairement votre démarche, estimer à partir du relevé expérimental les valeurs de la résistance R_0 et de la capacité C_0 du modèle équivalent.

Dans les applications industrielles utilisant des supercondensateur, ces derniers peuvent être associés en série ou en dérivation.

10. On associe deux supercondensateurs (C_0, R_0) identiques en série. Montrer que cette association est équivalente à l'association série d'un condensateur de capacité C_S et d'un conducteur ohmique de résistance R_S dont on donnera les expressions en fonction de C_0 et de R_0. Généraliser le résultat au cas d'une association de n supercondensateurs tous identiques en série.

11. On associe maintenant deux supercondensateurs *(C_0, R_0)* identiques en dérivation. Montrer que cette association est équivalente à l'association série d'un condensateur de capacité $C_{//}$ et d'un conducteur ohmique de résistance $R_{//}$ dont on donnera les expressions en fonction de C_0 et de R_0. Généraliser le résultat au cas d'une association de m superconducteurs tous identiques en dérivation.

12. On envisage maintenant la matrice *(n,m)* de supercondensateurs *(C_0, R_0)* représentée ci-après. En utilisant les résultats précédents, donner le modèle électrocinétique équivalent de cette matrice constituée d'un condensateur de capacité $C_{n,m}$ en série avec un résistor de résistance $R_{n,m}$. On donnera en particulier l'expression de la capacité $C_{n,m}$ et de la résistance $R_{n,m}$ en fonction de C_0, R_0 et des entiers naturels n et m.



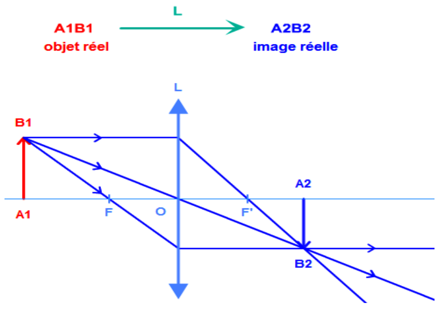
Fin de l'épreuve

Correction préparation_2 concours blanc

Problème 1 : Étude d'un appareil photographique *(d'après ENAC)*

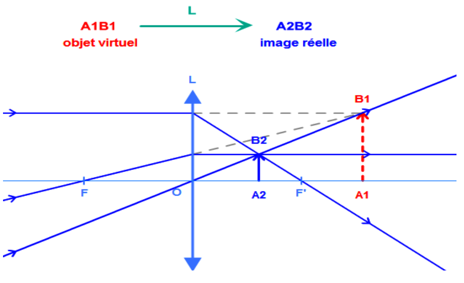
1. Préliminaires :

1.1. Lentille convergente : objet avant F :



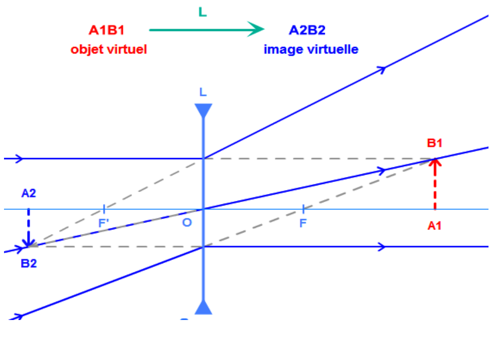
L'image est réelle.

1.2. Lentille convergente, objet après O (deux cas avant ou après F') :



L'image est réelle.

1.3. Lentille divergente, objet après F :



L'image est virtuelle.

Objectif constitué d'une lentille

2

Si l'objet est à l'infini, alors l'image est dans le plan focal image de la lentille. $\boxed{d_{min}=f_1'=50\text{mm}}$

Si l'objet est à la distance x de l'objectif : $\frac{1}{d_{max}}-\frac{1}{-x}=\frac{1}{f_1'}$ d'où $\boxed{d_{max}=\frac{x\,f_1'}{x-f_1'}}$

AN : $\boxed{d_{max}=\frac{600\times 50}{600-50}=55\text{mm}}$

-3

L'objet peut être considéré à l'infini ainsi $\overline{OA'}=f_1'$ L'image est renversée ainsi $\overline{A'B'}=-h_1$

D'après la formule du grandissement : $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\frac{-h_1}{h}=\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}=\frac{f_1'}{-D}$ d'où $h_1=\frac{h\times f_1'}{D}$.

AN : $h_1=\frac{50\times 50.10^{-3}}{2.10^{6}}=1{,}25.10^{-3}\,m=1{,}25\,mm$. $\boxed{E=f_1'=50\text{mm}}$

-4

D'après la question 1.1, la nouvelle distance lentille capteur est d'où $d'=\frac{D'f_1'}{D'-f_1'}$; $\delta=d'-f_1'=\frac{D'f_1'}{D'-f_1'}-f_1'$

d'où $\boxed{\delta=\frac{f_1'^2}{D'-f_1'}}$. AN : $\boxed{\delta=\frac{50^2}{10^3-50}=2{,}63\,mm}$. L'encombrement a augmenté.

Objectif constitué de 2 lentilles

-5

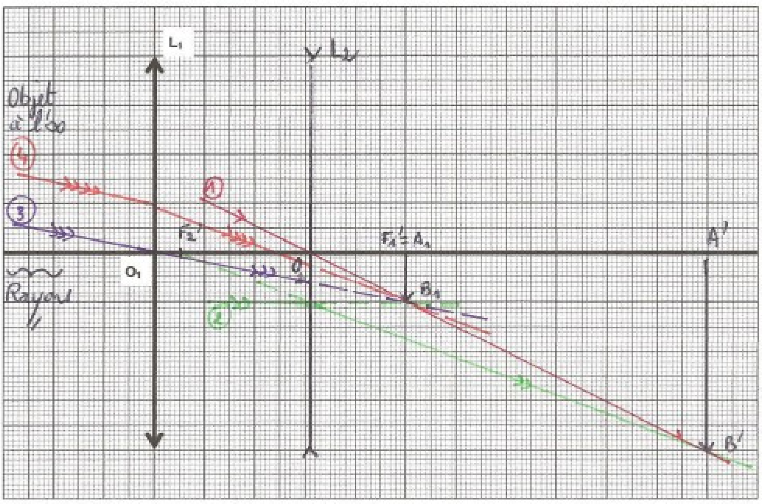
A_1 est confondue avec le foyer image de L_1. $\overline{O_2A_1}=\overline{O_2O_1}+\overline{O_1A_1}$ d'où $\overline{O_2A_1}=-e+f_1'$.

AN : $\boxed{\overline{O_2A_1}=-31+50=19\text{mm}>0}$. **$A_1$ est située après L_2, c'est un objet virtuel pour L_2.**

$\overline{F_2A_1}=\overline{F_2O_2}+\overline{O_2A_1}=f_2'-e+f_1'$ D'où $\boxed{\overline{F_2A_1}=f_2'-e+f_1'=-25-31+50=-6\text{mm}}$

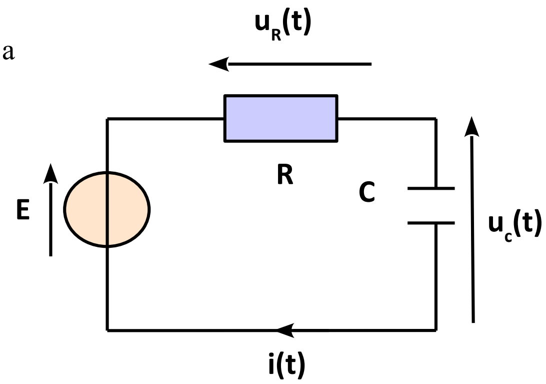
-6

- Positionner L_2, l'image intermédiaire A_1B_1 et les deux foyers images de L_1 et L_2.
- Tracer le rayon 1 passant par O_2 et B_1 : Il n'est pas dévié en sortie de L_2.
- Tracer le rayon 2 parallèle à l'axe optique passant par B_1 : Il émerge en passant par F_2'.
- Ces deux rayons se croisent et donnent la position de l'image définitive.
- Tracer le rayon 3 passant par O_1 et B_1 : Il n'est pas dévié par L_1.
- Tracer le rayon 4 initialement parallèle au rayon 3 : Après L_1, ils se croisent dans le plan focal image de L_1, soit en B_1, qui joue le rôle de foyer secondaire.
- D'où la construction ci-contre.



-7	$A_\infty \xrightarrow{L_1} F'_1=A_1 \xrightarrow{L_2} A'$ On écrit la formule de conjugaison pour la lentille L_2 : $\frac{1}{\overline{O_2A'}}-\frac{1}{\overline{O_2A_1}}=\frac{1}{f'_2}$ d'où $\overline{O_2A'}=\frac{\overline{O_2A'_1}\times f'_2}{\overline{O_2A'_1}+f'_2}$ d'où $\boxed{\overline{O_2A'}=\frac{(f'_1-e)\times f'_2}{f'_1-e+f'_2}}$. AN : $\boxed{\overline{O_2A'}=\frac{(50-31)\times(-25)}{50-31+(-25)}=79{,}2\,mm}$. $h_2=\lvert\overline{A'B'}\rvert$ D'après la formule du grandissement pour la lentille L_2 : $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}}=\frac{\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}}$ d'où $\overline{A'B'}=\frac{\overline{A_1B_1}\times\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}}=\frac{-hf'_1}{D}\times\frac{(f'_1-e)\times f'_2}{f'_1-e+f'_2}\times\frac{1}{(f'_1-e)}=\frac{-hf'_1}{D}\times\frac{f'_2}{f'_1-e+f'_2}<0$ *donc* $\boxed{h_2=\frac{hf'_1f'_2}{D(f'_1+f'_2-e)}}$.$\underline{AN}$: $\boxed{h_2=\frac{50\times50.10^{-3}\times(-25.10^{-3})}{2.10^3(50.10^{-3}+(-25.10^{-3})-31.10^{-3})}=5{,}21\,mm}$
8	L'encombrement **E'** est $\overline{O_1A'}$ or $\overline{O_1A'}=\overline{O_1O_2}+\overline{O_2A'}=e+\frac{(f'_1-e)\times f'_2}{f'_1-e+f'_2}$ d'où $\boxed{E'=e+\frac{(f'_1-e)\times f'_2}{f'_1-e+f'_2}}$ $\underline{AN}$: $\boxed{E'=31+79=110mm}$
9	Si on compare la dimension des images : $\boxed{h_2>h_1}$ et l'encombrement : $\boxed{E'>E}$. L'objectif avec 2 lentilles permet d'avoir une image plus grande pour un objet donné à distance donnée. Par contre l'encombrement est double. *Il faut comparer l'encombrement pour un même grandissement.*
10	Avec une lentille seule, le grandissement serait : $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\frac{-h_2}{h}=\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}=\frac{f'}{-D}$ d'où une distance focale : $\boxed{f'=h_2\frac{D}{h}}$. $\underline{AN}$: $\boxed{f'=5{,}21\,\frac{.10^{-3}\times2.10^3}{50}=0{,}208=20{,}8\,cm}$. Avec une lentille simple l'encombrement est de 20,8cm alors qu'avec l'association des 2 lentilles il est de 11cm . En utilisant 2 lentilles on réduit l'encombrement de moitié pour un même grandissement.

Problème 2 : Modélisation des supercondensateurs *(d'après concours CCINP PC 2019)*



1. Pour répondre à cette question on introduit l'intensité $i(t)$ et la tension $u_R(t)$ comme indiqué sur le schéma.

Pour t > 0, on applique la loi des mailles : $u_c + u_R = E$ (1)or $u_R = Ri$ et $i = C\dfrac{du_C}{dt}$ donc en remplaçant ces grandeurs dans (1) on obtient : $\boxed{\dfrac{d\,u_C(t)}{dt} + \dfrac{u_C(t)}{\tau} = \dfrac{E}{\tau}}$ avec τ = RC . la constante de temps du circuit.

2. τ se nomme la constante de temps du circuit. Physiquement elle donne un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

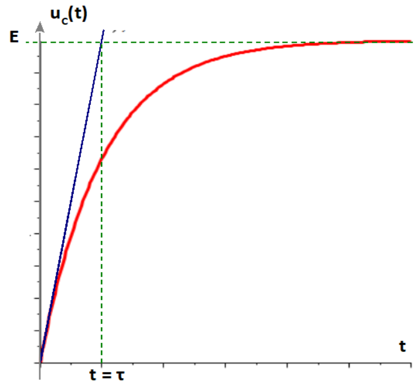
3. La solution de l'équation est de la forme : $u_C(t) = u_{Ch} + u_{Cp}(t) = \lambda e^{-\frac{t}{\tau}} + E$

Détermination de λ :

Le condensateur est initialement déchargé donc $u_C(0^-) = 0$.

Il y a continuité de la tension aux bornes d'un condensateur donc $u_C(0^+) = u_C(0^-)$ donc $u_C(0^+) = 0$

On en déduit $0 = \lambda e^{\frac{0+}{\tau}} + E$ d'où $\lambda = -E$. d'où la solution : $\boxed{u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$.



4. D'après l'expression de $u_C(t)$: $\lim\limits_{t \to \infty} u_C(t) = E$. La courbe a une asymptote horizontale quand t tend vers l'infini la valeur prise par u_C est E , on en déduit $\boxed{E = 5\,V}$. La tangente à l'origine coupe l'asymptote en t= τ. On en déduit : $\boxed{\tau = 0{,}001\,s}$.

5. On sait que $\tau = RC$ donc $\boxed{C = \dfrac{\tau}{R} = \dfrac{0{,}001}{10^3} = 1\,\mu F}$.

6. L'expression de $u_C(t)$ permet de calculer $i(t) = C\dfrac{du_c(t)}{dt} = \dfrac{E}{R}e^{\frac{-t}{\tau}}$.

Pendant la charge :

Énergie emmagasinée dans le condensateur : $E_C = \dfrac{1}{2}C\,u^2(\infty) - \dfrac{1}{2}C\,u^2(0+) = \dfrac{1}{2}C\,E^2$

Énergie délivrée par le générateur : $E_G = \int_0^\infty E\,i(t)\,dt = \int_0^\infty E\left(\dfrac{E}{R}\right)e^{-\frac{t}{R}}\,dt = \left[-\tau R\left(\dfrac{E}{R}\right)^2 e^{-\frac{t}{\tau}}\right]_0^\infty = C\,E^2$ Soit E_R l'énergie perdue par effet Joules . D'après le principe de conservation de l'énergie : $E_G = E_R + E_C$. On en déduit $E_R = E_G - E_C = CE^2 - \dfrac{1}{2}C\,E^2 = \dfrac{1}{2}C\,E^2$.

Finalement : $\boxed{E_C = E_R = \dfrac{E_G}{2} = \dfrac{1}{2}C\,E^2}$.

7. Pour t<0 , le courant est nul dans le circuit $u_c(t) = u_R(t) + u_{C_0}(t)$ or $u_R(t) = R\,i(t) = 0$ et $u_{C_0}(t) = U_a$. On en déduit : $\boxed{u_c(t) = U_a}$. Graphiquement : $\boxed{U_a = 1{,}55\,V}$.

8. On se place à t>0 pendant l'impulsion de courant.

Dans le circuit ci-contre i = I .

$u_c(t)=u_R(t)+u_{C_0}(t)$ (2).

or $u_R(t)=R_0 i(t)=R_0 I$ et $i(t)=I=C_0\dfrac{du_{C_0}}{dt}$.

Pour pouvoir additionner les tensions il faut les dériver. D'après (2) on obtient :

$\dfrac{d\,u_c(t)}{d\,t}=\dfrac{d\,u_R(t)}{d\,t}+\dfrac{d\,u_{C_0}(t)}{d\,t}$ (2').

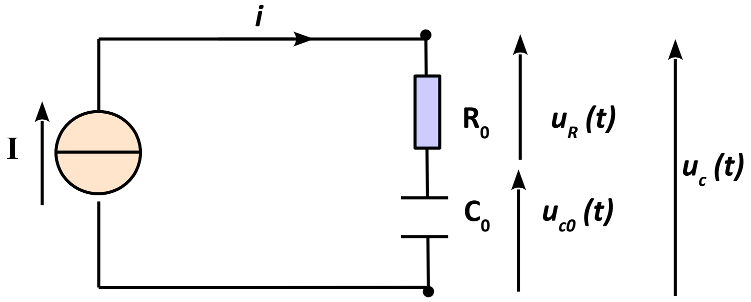


Schéma du circuit réalisé

Or $\dfrac{d\,u_R(t)}{d\,t}=\dfrac{d\,R_0 I}{dt}=0$. En remplaçant dans (2') on obtient : $\dfrac{d\,u_c(t)}{d\,t}=0+\dfrac{I}{C_0}$ d'où : $\boldsymbol{\dfrac{d\,u_c(t)}{d\,t}=\dfrac{I}{C_0}}$. Par intégration : $\boldsymbol{u_c(t)=\dfrac{I}{C_0}t+cste}$.

D'après les conditions initiales et la continuité de la tension aux bornes du condensateur:

$\boldsymbol{u_{c_0}(0\text{-})=u_{C_0}(0+)=U_a}$ et $\boldsymbol{u_R(0+)=R_0 I}$ d'où $\boldsymbol{u_C(0+)=U_a+R_0 I}$ d'où $\boldsymbol{U_a+R_0 I=\dfrac{I}{C_0}\times 0+cste}$

d'où $\boldsymbol{U_a+R_0 I=cste}$.

Finalement pendant l'impulsion de courant: $\boxed{u_c(t)=\dfrac{I}{C_0}t+U_a+R_0 I}$.

Par identification : $\boxed{\alpha=\dfrac{I}{C_0}}$ et $\boxed{\beta=U_a+R_0 I}$

9. $\boldsymbol{P=\dfrac{I}{C_0}}$ est la pente de la droite représentant l'évolution de $u_C(t)$ pendant la charge. On détermine graphiquement cette pente : $\boldsymbol{P=\dfrac{\Delta u_C}{\Delta t}=\dfrac{1{,}8-1{,}7}{4-1}=\dfrac{0{,}1}{3}=0{,}033}$.

On en déduit $\boxed{C_0=\dfrac{I}{P}=\dfrac{100}{0{,}1}\times 3=3.10^3\,F}$. L'ordonnée à l'origine de la droite représentant l'évolution de $u_C(t)$ pendant la charge est $\boldsymbol{b=U_a+R_0 I}$. On détermine graphiquement b = 1,6 V. Ainsi

$$\boxed{R_0=\frac{b-U_a}{I}=\frac{1{,}6-1{,}55}{100}=\frac{0{,}05}{100}=0{,}5\,\mathrm{m}\Omega}$$

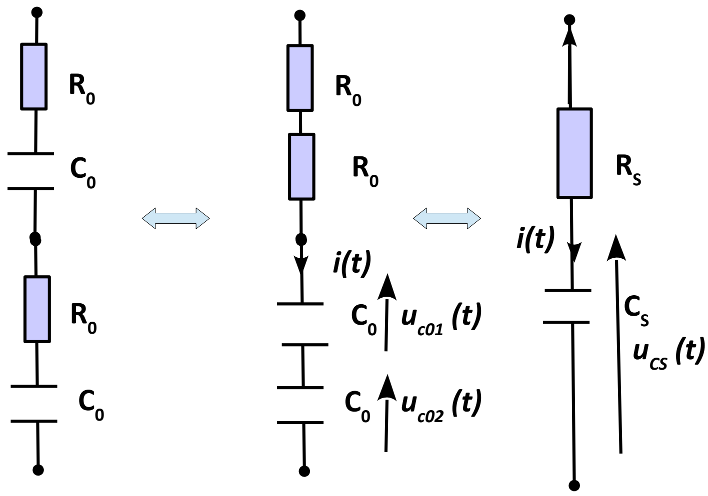
10. Dans un premier temps, on permute les dipôles de façon à associer les résistances en série ainsi $\boxed{R_S=R_0+R_0=2R_0}$.

C_s est la capacité équivalente aux deux capacités C_0 en série.

Pour déterminer C_s, on considère l'intensité traversant les capacités et la tension à leurs bornes.

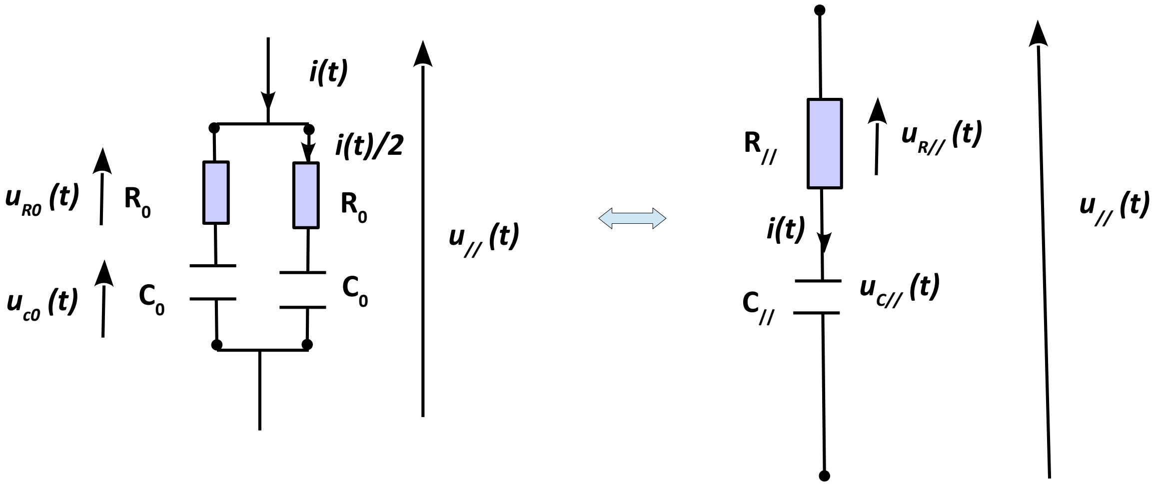
$\dfrac{du_{Cs}}{dt}=\dfrac{du_{C01}}{dt}+\dfrac{du_{C02}}{dt}=\dfrac{i}{C_0}+\dfrac{i}{C_0}=i\left(\dfrac{1}{C_0}+\dfrac{1}{C_0}\right)=\dfrac{i}{C_S}$.

On en déduit : $\boxed{C_S=\dfrac{C_0}{2}}$.



Généralisation à n supercondensateurs en série : $\boxed{R_S = n\,R_0}$ et $\boxed{C_S = \dfrac{C_0}{n}}$.

11. On cherche à montrer l'équivalence entre les deux schémas ci-dessous.



Dans les deux branches en parallèle du réseau non simplifié, les supercondensateurs étant identiques l'intensité est i/2. Ainsi : $u_{//} = u_{R0} + u_{C_0} = R_0 \dfrac{i}{2} + u_{C_0}$. Par dérivation on obtient : $\dfrac{d\,u_{//}}{d\,t} = \dfrac{R_0}{2}\dfrac{d\,i}{dt} + \dfrac{d\,u_{C_0}}{d\,t}$ or $\dfrac{i}{2} = C_0 \dfrac{du_{C_0}}{dt}$ d'où : $\dfrac{d\,u_{//}}{d\,t} = 2\,R_0 \dfrac{d\,i}{dt} + \dfrac{i}{2\,C_0}$.

Dans le schéma équivalent la relation tension courant est : $\dfrac{d\,u_{//}}{d\,t} = R_{//}\dfrac{d\,i}{dt} + \dfrac{i}{C_{//}}$

Par identification on obtient : $\boxed{C_{//} = 2\,C_0}$ et $\boxed{R_{//} = \dfrac{R_0}{2}}$.

Généralisation à m supercondensateurs en parallèle : $\boxed{R_{//} = \dfrac{R_0}{m}}$ et $\boxed{C_{//} = m\,C_0}$.

12. Dans la matrice il faut d'abord associer les condensateurs en série, dans chaque branche le supercondensateur a les caractéristiques : : $\boxed{R_S = n\,R_0}$ et $\boxed{C_S = \dfrac{C_0}{n}}$. Ensuite on associe les supercondensteurs identiques en // : $\boxed{R_{n,m} = \dfrac{n}{m}\,R_0}$ et $\boxed{C_{n,m} = \dfrac{m}{n}\,C_0}$.