Force de Lorentz

$\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B}$ $(+q\vec{E}\ldots)$

$= i\vec{L}\times\vec{B}$ $(\vec{B} \perp \vec{l})$

Trajectoire circulaire :

$|F_B| = \frac{mv^2}{R} = |q|vB$

$\Rightarrow R = \frac{mv}{|q|B}$ avec $T = \frac{2\pi R}{v}$

Biot-Savart

une charge émet un champ

$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v}\times\hat{r}}{r^2}$

$\hat{r}$ entre la charge (qui a vitesse $\vec{v}$) et le point de calcul

$\Rightarrow$ Superposition

$\vec{B}$ généré par un courant

$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{dq\vec{v}\times\hat{r}}{r^2}$ $\boxed{dq\vec{v} = i d\vec{l}}$

$\Rightarrow B = \int dB = \frac{\mu_0}{2\pi r} i$

Loi d'Ampère

point où on veut le champ

$\oint B\cdot dl = \mu_0 i_{\text{enlacés}}$

circuit FERMÉ

⚠ stationnaire

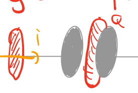
Solénoïde: $B = \mu_0 I \frac{N_{tot}}{L_{tot}}$

$B(r)\cdot 2\pi r = \mu_0 i$

sinon

$\oint B dl = \mu_0 (i_{\text{enlacés}} + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt})$

$\mu_0\varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$



courant de déplacement

$B_Q \overset{FAUX}{=} 0$

$B_P \simeq B_Q$

trouver le sens de B (main droite)

Autres formules

- le courant va du V_+ au V_-
- Superposition des charges $(0 = +1 - 1)$
- vitesse angulaire $\omega = 2\pi/T$

$f = \frac{1}{T}$, $v = \omega r$

- $z = a + ib$, $z = |z|e^{i\phi}$

$|z| = \sqrt{a^2+b^2}$, $\Phi = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$

- longueur d'onde $\lambda = c/f$
- vol sphère $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, $S = 4\pi R^2$
- $\vec{a}\times\vec{b} = \|a\|\cdot\|b\|\cdot\sin\theta\,\vec{n}$

avec $\vec{n}$ normal à $\vec{a}$ et $\vec{b}$

- $\vec{a}\cdot\vec{b} = \|a\|\cdot\|b\|\cdot\cos\theta$
- $\ddot{\theta} = -\Omega^2\sin\theta$, oscillateur harmonique de fréquence Ω
- l'aluminium est neutre (sans charge)
- pour des murs linéaires on égalise les forces sinon on égalise les couples (rotat°)
- $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$
- rot $F = \left(\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y}\right)$

rot $G = \left(\frac{\partial F_3}{\partial y} - \frac{\partial F_2}{\partial z}, \frac{\partial F_1}{\partial z} - \frac{\partial F_3}{\partial x}, \frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y}\right)$

- la tension va du ⊕ au ⊖ d'un générateur
- $\vec{\nabla}\cdot(\vec{A}\times\vec{B}) = (\vec{\nabla}\times\vec{A})\cdot\vec{B} - \vec{A}\cdot(\vec{\nabla}\times\vec{B})$

Loi de Coulomb

$\vec{F}_{q_1\to q_2} = k\frac{q_1q_2}{r^2}\vec{r}_{1\to 2}$

$\vec{r} = \frac{D_1\vec{e_r} + D_2\vec{e_z}}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2}}$

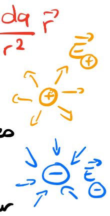
Champ électrique

produit par une charge Q

$\vec{E} = \frac{kQ}{r^2}\hat{r} = \int_{\text{charges}} k\frac{dq}{r^2}\hat{r}$

$\vec{E} = 0$ dans les conducteurs, uniquement en stationnaire (sans courant)

$\vec{E}$ sort radialement des charges



Champ uniforme (p. exemple dans le cas d'un condensateur plan, d petite) : $E = \frac{V}{L}$ (champ total, des 2 plaques)

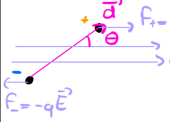
Dipôles électriques

deux charges opposées séparées par une distance d. Si on le place dans un champ électrique, il y a un moment de force (= couple).

Moment dipolaire : $\vec{p} = q\vec{d}$

Moment de force (= couple) : $\vec{\tau} = \vec{p}\times\vec{E}$

↳ décrit la rotation subie



$\vec{F_+} = q\vec{E}$, $\vec{F_-} = -q\vec{E}$, $\vec{F}_{tot} = \vec{0}$

$|\vec{\tau}| = 2\cdot qE\frac{d}{2}\sin\theta$

Théorème du moment cinétique :

$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L_0}}{dt}$ avec $\vec{L_0} = \sum_i \vec{r_i}\times m_i\vec{v_i}$ ↳ $\vec{OP_i}$

$E_{\text{potentielle}} = -\vec{p}\cdot\vec{E}$

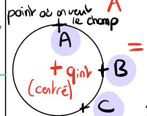
Flux électrique

Mesure la "quantité de champ" interceptée par la surface A.

$\Phi_E = \oint_A \vec{E}\cdot d\vec{A}$

$d\vec{A}$ un vecteur perp à la surface

A p.ex. une sphère, un cylindre



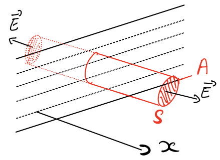
$= \frac{Q_{int}}{\varepsilon_0}$

⚠ pas compter surf où $\vec{E}\perp\vec{S}$

⚠ seulement si symétrie ! (on fait l'approximat° que $E(A) = E(B) = E(C)$ etc…!)

Si Q_{int} est connu (p.ex. densité connue et distribution uniforme), on retrouve E !

⚠ bien compter toutes les surfaces :



$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{A} = E(x)\cdot 2A = \frac{\sigma A}{\varepsilon_0}$

attent° au piège quand la surface A est dans un conducteur $E = 0$!

Travail, énergie et potentiel

$W_{A\to B} = -\Delta U$

p.ex. pour rapprocher $q_A > 0$ de $q_B > 0$:

$W_{A\to B} = \int_A^B \vec{F}\cdot d\vec{l} = -q_0\int_A^B E dl < 0$

Energie potentielle : $W_{A\to B}$ ne dépend pas du chemin !

$U(r) = k\frac{q_0Q}{r}$ ⇒ énergie du système $\{q_0, Q\}$

$V(r) = \frac{U(r)}{q_0}$ ⇒ potentiel créé par Q en un point à une distance r

$V(r) = \sum_i k\frac{Q_i}{r_i}$ ou $V(r) = \int_S k\frac{dq}{r}$

Si on veut le potentiel TOTAL d'un système pour calculer l'énergie, on compte toutes les paires !

$U_{tot} = \sum_{i<j}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_iq_j}{r_{i,j}}$

$W_{A\to B} = U(A) - U(B)$

$\Rightarrow \frac{W_{A\to B}}{q_0} = V(A) - V(B) = -\Delta V$

$-\Delta V$ est le travail par unité de charge fait par l'élec lorsque les charges sont bougées de A à B

$-\Delta V = \int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{l}$, $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$

$E = k + U$

$= \frac{1}{2}mv^2 + V\cdot q_0$

Effet de pointe

deux sphères connectées ont le même potentiel :

$V_P = V_G \Rightarrow \frac{E_G}{E_P} = \frac{r_P}{r_G}$

rayon <, E >

rayon >, E <

Pour une sphère métallique (surface équipotentielle) : $\vec{E}\perp$ surface

$V(r) = k\frac{q}{r}$, $r \geq R_{\text{sphère}}$

Poisson

$\vec{\nabla}^2\cdot\vec{V} = \Delta V = \frac{-\rho}{\varepsilon_0}$

Puissance

dérivée de l'énergie

$|P| = \left|\frac{dU}{dt}\right| = \left|\frac{dW}{dt}\right| = \left|\frac{dq}{dt}V\right| = |iV| = i^2R = \frac{V^2}{R}$

Capacité électrique

plus on met de charges, plus on augmente le potentiel (et plus il devient difficile de mettre encore des charges)

Capacité est une prop. du matériau (p.ex. $4\pi\varepsilon_0 R$ dans le vide)

$CV = Q$

Dans un condensateur (deux conducteurs séparés par un isolant) :

$C = \frac{\varepsilon A}{d}$ (ou plus exact. $\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r A}{d}$)

ε_r (ou k_e) est la cste. diélectrique

A est l'aire des plaques

d la distance entre elles

ε_0 la permissivité du vide

$U_{\text{stockée}} = \frac{1}{2}CV^2$ (souvent) $= \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 Ad$

$= \iiint_{\text{Volume}} \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$

Série : $C_{tot} = \left(\sum\frac{1}{C_i}\right)^{-1}$

Parallèle : $C_{tot} = \sum C_i$

B créé un courant / courant créé un champ !

Loi de Faraday-Lenz

$\mathcal{E} = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt} = \Delta V$

$\mathcal{E}$ (f.e.m) induite quand le flux change

Lenz : le courant induit s'oppose à la variation de flux qui l'a généré.

⇒ car le courant induit génère un champ !

$\Phi_B = \iint_S B dA$

Transformateurs

⇒ induit un courant ($\mathcal{E}_{\text{secondaire}}$) en faisant varier le flux du circuit primaire (courant AC)

$\frac{\mathcal{E}_{sec}}{\mathcal{E}_{prim}} = \frac{N_{sec}}{N_{prim}}$

on le trouve avec

$\mathcal{E}_S = -\frac{d}{dt}(N_S\Phi_B)$

$\mathcal{E}_P = -\frac{d}{dt}(N_P\Phi_B)$

Comme s'il y avait un générateur !

$[L] = [\Pi] = \text{Henri}$

$\Pi_{1\to 2} = \frac{N\cdot\Phi_{B2}^{1\,\text{vers}}}{i_1} = \Pi_{2\to 1} = \Pi$ ← inductance mutuelle

$\mathcal{E}_1 = -\Pi\frac{di_2}{dt}$, $\mathcal{E}_2 = -\Pi\frac{di_1}{dt}$ c'est une constante

on fait cette tension c'est comme s'il y avait un générateur dans le circuit récepteur.

Equations de Maxwell

$\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \text{div}(E) = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \iff \oiint_{S\text{ fermée}} \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$

$\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0$

$\Rightarrow \text{div}(\vec{B}) = 0 \iff \oiint_{S\text{ fermée}} \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$

$\vec{\nabla}\times\vec{E} = \frac{-\partial\vec{B}}{\partial t}$

$\iff \oint_C \vec{E}\cdot d\vec{l} = \frac{-d}{dt}\iint_{S_C}\vec{B}\cdot d\vec{A} = -\frac{d(\Phi_B)}{dt} = \mathcal{E}$

$\vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu_0\vec{J} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$

$= \mu_0 i_{\text{enlacés}} + \frac{1}{c^2}\frac{d}{dt}\iint_S \vec{E}\cdot d\vec{A}$

Unités

newton	$1N = 1kg\cdot m\cdot s^{-2}$
volt	$V = kg\cdot m^2\cdot s^{-3}A^{-1}$
ampère	$A = C/s$
capacit.	$F = C/V$
inductance	$H = Wb/A$
intensité rad	W/m^2

Constantes

$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\ T\cdot m\cdot A^{-1}$

$k = 9\cdot 10^9\ N\cdot m^2\cdot C^{-2}$

$\varepsilon_0 = 8.9\cdot 10^{-12}\ F\cdot m^{-1}$

E champ élec	V/m
B champ magn.	$T = N/(A.m)$
Φ_E flux élec	$V\cdot m$
Φ_B flux magn.	$T\cdot m^2$ (Wb)

$\int\frac{dx}{(a^2+x^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2\sqrt{a^2+x^2}}$

$\int\frac{x\,dx}{(x^2+a^2)^{3/2}} = -\frac{1}{(x^2+a^2)^{1/2}}$

$\int\frac{x\,dx}{(x^2+a^2)^{1/2}} = (x^2+a^2)^{1/2}$

10^{-1} : d

10^{-3} : m

10^{-6} : μ

10^{-9} : n

10^{-12} : p

10^{-15} : f

Auto-inductance

→ contrairement à l'inductance mutuelle, induit un courant avec la bobine du même circuit !

$L = \frac{\Phi_B}{i} = \frac{N\Phi_B^{\text{int tour}}}{i}$ | $L = L_0 k_m$ (comme la capacité, dans le cas d'une inductance avec noyau magnétique)

L encore de réd.

$V_L = -\mathcal{E}_{ind} = L\frac{di}{dt}$; quand $i \nearrow$

l'inductance crée un champ magnétique qui crée une tension qui crée un courant (dans le cas d'un circuit fermé) qui s'oppose à la variation du courant.

il n'est pas forcément opposé au courant, p. ex. si la variation est une diminution, le courant induit sera dans le sens du courant

Energie stockée

$U_L = \frac{1}{2}Li^2$ | $U_B = \frac{1}{2\mu_0}\int_V B^2$

L en série : $\sum L$

L en parallèle : $\left(\sum\frac{1}{L}\right)^{-1}$

Circuits RC

$V(t) = \mathcal{E} + (V_0 - \mathcal{E})e^{-\frac{(t-t_1)}{RC}}$

on part d'une tension V_0 jusqu'à $\mathcal{E}$

Charge

$\mathcal{E} - V_C - V_r = 0$

$\Rightarrow \frac{\mathcal{E}}{RC} - \frac{V_C}{RC} - \frac{d(V_C)}{dt} = 0$

$\Rightarrow V_C(t) = \mathcal{E}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$

on utilise que $V_C(0) = 0$

$i(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC}$

Décharge

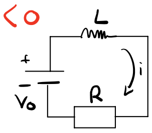
On prend que $i(t) = C\frac{d(V_C)}{dt}$

$RC\frac{dV_C}{dt} + V_C = 0$

$\Rightarrow V_C(t) = V_0 e^{-t/RC}$

$i(t) = -\frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} < 0$

Circuits RL



$V_0 + \mathcal{E}_{ind} = iR$

$\mathcal{E}_{ind} = -L\frac{di}{dt}$

$V_0 = \frac{L\,di}{dt} + Ri$

$\Rightarrow i(t) = \frac{V_0}{R}\left[1 - e^{-t/(L/R)}\right]$

Sep. variables

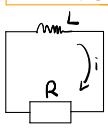
$\frac{di}{i - V_0/R} = -\frac{dt}{L/R}$

$\Rightarrow i(t) - V_0/R$

$i(0) - V_0/R$

$i = 0$ à $t = 0$

on déconnecte la batterie.



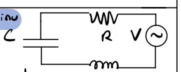
$\mathcal{E}_{ind} = iR$

$\Leftrightarrow -L\frac{di}{dt} = iR$

$\Rightarrow i(t) = i(0)e^{-t/(L/R)} = \frac{V_0}{R}e^{-t/(L/R)}$

Circuits RLC

Courant continu



$V - \frac{q(t)}{C} - Ri(t) - L\frac{di}{dt} = 0$

$\Leftrightarrow L\frac{d^2q}{dt^2} = -\frac{1}{C}q - R\frac{dq}{dt} + V$ (A)

On pose $V = 0$ pour résoudre.

Ansatz : $q(t) = e^{a_1 t} + e^{a_2 t}$. En posant $q(0)$ dans (A)

on trouve $a_{1,2} = \frac{-R/L \pm \sqrt{\frac{R^2}{L^2} - \frac{4}{LC}}}{2}$

Circuits AC et impédance

$V(t) = V_0(\cos(\omega t) + i\sin(\omega t))$

$= V_0 \exp(i\omega t)$

$Z = \frac{V(t)}{i(t)}$ — i complexe pas le courant

- Kirchoff
- retrouver $i = \frac{dq}{dt}$

$i = \int \frac{di}{dt}\,dt$

$Z_{résistance} = R$

$Z_{condensateur} = \frac{-i}{\omega C}$

$Z_{inducteur} = i\omega L$

$i(t) = \frac{V_0 e^{i\omega t}}{|Z_{tot}|} e^{-i\phi}$

$Z_{tot} = |Z_{tot}|e^{i\phi}$

$= \left(\frac{e^{-i\phi}}{|Z_{tot}|}\right)^{-1}$

Série : $Z_{tot} = \sum Z_i$

Parall : $Z_{tot} = \left(\sum \frac{1}{Z_i}\right)^{-1}$

Circuits RLC (AC)

$i(t) = \frac{V_0 e^{i\omega t} e^{-i\arctan\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right)}}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$

$\omega \to 0$, $i(t) = V_0 e^{i\omega t}\omega C e^{i\pi/2}$ cond. domine

$\omega \to \infty$, $i(t) = V_0 e^{i\omega t}\frac{1}{\omega L}e^{-i\pi/2}$ induct. domine

$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $i(t) = \frac{V_0}{R}e^{i\omega t}$ résonance, résistance domine

Quand X domine, $Z_{circuit} = Z_X$

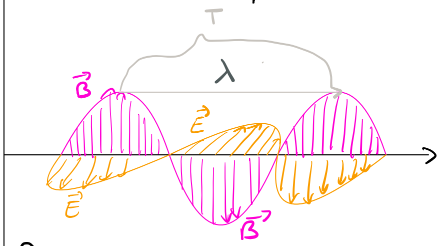
⚠ Quand on a $V_L = ike^{i\omega t}$

on pose $i = e^{i\pi/2}$, $V_L = ike^{i(\omega t + \pi/2)}$ phase

V_L en avance de $\pi/2$ (90°)

Ondes électromagnétiques

- dans le vide : $\rho = 0$, $\vec{J} = 0$



$f = 1/T$

$\vec{E} \times \vec{B} = \vec{k}$ direction de propagation

$|\vec{E}| = |\vec{B}|c$

$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ vitesse de propagation

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ numéro d'onde

$\omega = 2\pi f = kc$

rad/s, 1/s, 1/m, m/s

Pour une variation selon z (c-a-d $\vec{E} = E(z,t)$, $\vec{B} = B(z,t)$)

(A) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

(B) $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\partial E_x}{\partial t} = -c^2\frac{\partial B_y}{\partial z} \\ \frac{\partial E_y}{\partial t} = c^2\frac{\partial B_x}{\partial z} \end{cases}$

on injecte (A) dans (B) :

$\begin{cases} \frac{\partial^2 B_y}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 B_y}{\partial t^2} = 0 \\ \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = 0 \end{cases}$ Equation d'onde

$\vec{E}(\vec{s}, t) = \vec{E}_0\cos(\omega t - \vec{k}\cdot\vec{s})$

sur deux axes au plus

On cherche $\vec{B}$ à partir de $\vec{E}$

$\frac{\vec{k} \times \vec{E}}{kc}$

$= \|\vec{k}\| \cdot \|\vec{E}\| \cdot \frac{\vec{B}}{\|\vec{B}\|} \cdot \frac{1}{\|k\|} \frac{1}{c} = \vec{B}$

$E = \int \underbrace{\hat{E}\cos(kz - \omega t)}_{\text{onde plane}}\,d\omega\,dt$

Fourier

$\hat{f}(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{i\alpha t}\,dt$

$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\alpha)e^{-i\alpha t}\,d\alpha$

Dipôles magnétiques

$\vec{\mu} = i(A)\vec{n}$ surface du circuit fermé

$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

$E_{potentielle} = -\vec{\mu}\cdot\vec{B}$

Courant électrique

$\vec{E} = 0$ n'est plus valable !

$i = \frac{dq}{dt}$

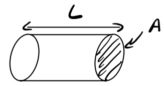
$= n_{charges} \cdot q \cdot v_{déplacement} \cdot S$

$\vec{J} = n_{charges} \cdot q \cdot \vec{v}_{déplacement} = \frac{1}{\rho}\vec{E}$

résistivité

Résistance

$\rho = \frac{g}{nq q^2}$



$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$

En série : $R_{tot} = \sum R_i$

En parallèle : $R_{tot} = \left(\sum \frac{1}{R_i}\right)^{-1}$

Loi d'Ohm

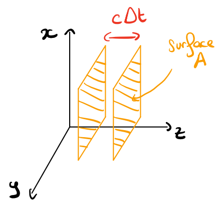
$V = Ri$

Energie des ondes

$U = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{2\mu_0}$

comme $B = \frac{E}{c}$

$U = \varepsilon_0 E^2$ (densité d'énergie champs électromagnétiques)



$\Delta U = u \times \text{volume}$

$= \varepsilon_0 E^2 A c \Delta t$

$\frac{\text{puissance}}{\text{surface}} = \frac{\Delta U}{A \Delta t} = \varepsilon_0 E^2 c = S$

intensité de radiation $I = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 c$

amplitude des champs

$E_0 = \sqrt{2c\mu_0 I}$ $B_0 = \sqrt{\frac{2\mu_0}{c} I}$

$I = P/A$

$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B}$ Poynting

flux instantané d'énergie

$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot\vec{S} = \vec{0}$ flux de S

$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}\left(\iiint_V u\,dV\right)}_{\text{puissance}} = -\iint_S \vec{S}\cdot d\vec{A}$

$= -\int_{V(S)} (\vec{\nabla}\cdot\vec{S})\,dV$

Sphérique

$\begin{cases} x = \rho\sin\theta\cos\varphi \\ y = \rho\sin\theta\sin\varphi \\ z = \rho\cos\theta \end{cases}$

$\det|J| = r^2\sin\theta$

$d\vec{S} = r^2\sin\theta\,d\theta\,d\varphi\,\hat{e}_r$

$dV = r^2\sin\theta\,d\theta\,d\varphi\,dr$

Cylindrique

$\begin{cases} x = r\cos\theta \\ y = r\sin\theta \\ z = z \end{cases}$

$\det|J| = r$

$d\vec{S} = r\,dr\,d\theta\,\hat{e}_z$

$dV = r\,dr\,d\theta\,dz$

Règle des noeuds

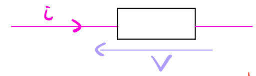
$\sum i_{in} = \sum i_{out}$

Règle des mailles (chaque maille fermée)

$\sum V_k = 0$

- on place les courants (sens arbitraire ou par intuition, en fonction des tensions des générateurs)
- flécher les tensions (convention récepteur, à l'inverse des courants)

Convention récepteur



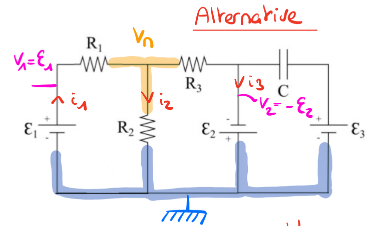
- choisir un sens pour compter et sommer les tensions dans le sens dans lequel on les rencontre
- poser la loi des noeuds et résoudre

(A) $I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 - R_2 I_2}{R_1}$ $I_3 = \frac{\mathcal{E}_2 + R_2 I_2}{R_3}$

(B) $I_1 = I_2 + I_3$

mettre (A) dans (B)

Alternative



car le fil est équipotentiel ! On peut échanger les composants en série au sein du fil

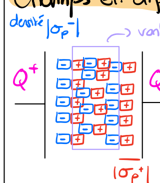
$I_1 = I_2 + I_3$

$\frac{\mathcal{E}_1 - V_n}{R_1} = \frac{V_n}{R_2} + \frac{V_n + \mathcal{E}_2}{R_3}$

on isole V_n et on réinjecte.

Champs él. différents milieux / Polarisation

densité $|\sigma_p^-|$ → vont s'annuler



avec Gauss :

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} - \frac{|\sigma_p^+|}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} - \frac{|\sigma_p^-|}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} - \frac{P}{\varepsilon_0}$

$E = E_0 - \chi E$

champ sans diélectrique

susceptibilité diélectrique (à quel point, plus le champ est fort, plus les dipôles s'alignent et réduisent le champ, donc le potentiel, donc augmente la capacité)

$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E}$, $|\sigma_p^+| = |\sigma_p^-| = P$

polarisation

$E = \frac{E_0}{k_\beta}$, $k_\beta = \varepsilon_r = 1 + \chi$

χ susceptibilité électrique

ε_r permittivité relative du matériau

E_0 le champ électrique dans l'air ($\varepsilon_r = 1$)

$V(A) - V(B) = \int_0^{\text{fin milieu }A} \vec{E}_A\,d\vec{\ell} + \int_{\text{fin }A}^{\text{fin }B} \vec{E}_B$

$= \frac{E_0}{k_A} \cdot d_A + \frac{E_0}{k_B} \cdot d_B$