

◇ Optique

● Optique géométrique

⊗ Prisme :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \quad n^2 = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

⊗ Miroirs sphériques :

$$\gamma = \frac{\overline{FA'}}{\overline{FS}} = \frac{\overline{FS}}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}} \quad \overline{FA} \overline{FA'} = \overline{FS}^2 \text{ (NEWTON)} \quad \frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{1}{\overline{SF}} \text{ (DESCARTES)}$$

⊗ Lentilles :

$$\gamma = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad \overline{FA} \overline{FA'} = -f'^2 \text{ (NEWTON)} \quad \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \text{ (DESCARTES)}$$

● Modèle scalaire de la lumière

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = \hbar\omega \quad \phi(M) = \frac{2\pi}{\lambda_{vide}}(SM) + \phi_S \quad \delta = p\lambda$$

● Trous d'YOUNG

$$\delta = \frac{2ax}{D} \quad i = \frac{\lambda D}{2a}$$

● MICHELSON

⊗ Coin d'air :

$$\delta = 2e = 2\alpha x \quad i = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

⊗ lame d'air :

$$\delta = 2e \cos i$$

⊗ Contraste/Visibilité :

$$C = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}$$

● Diffraction

$$\sin i' - \sin i = p n \lambda = p \frac{\lambda}{d} \text{ (Formule du réseau)}$$

◇ Mécanique

• Mouvements dans les champs \vec{E} et \vec{B}

$$\vec{f}_{\text{LAPLACE}} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B}) \quad E_{p\partial l} = qV + C^{ste}$$

• Mouvement à forces centrales

$$\vec{F} = \frac{k}{r^2} \quad E_p = \frac{k}{r} \quad r^2 \dot{\theta} = C^{ste} \text{ Vitesse aréolaire} \quad \frac{T^2}{a^3} = C^{ste} \quad v_{lib} = \sqrt{2} v_{sat} = \sqrt{2 \frac{GM}{R_T}}$$

• Changements de référentiels

$$\vec{v}_e = \left. \frac{d\overrightarrow{OO'}}{dt} \right|_{\mathcal{R}} + \vec{\Omega}_{\mathcal{R}'/\mathcal{R}} \wedge \overrightarrow{O'M} \quad \vec{f}_{ie} = m\Omega^2 \overrightarrow{HM} \quad \vec{f}_{ic} = -2m\vec{\Omega}_{\mathcal{R}'/\mathcal{R}} \wedge \vec{v}_r$$

• Réduction du problème à 2 corps

$$\vec{r} = r\vec{e}_r = \overrightarrow{M_1M_2} \quad \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \text{ (masse réduite)} \quad \mu \ddot{\vec{r}} = f_G(r)\vec{e}_r \Rightarrow \vec{r}(t) \begin{cases} \vec{r}(t) = \vec{r}_1(t) + \vec{r}_2(t) \\ m_1 \vec{r}_1(t) + m_2 \vec{r}_2(t) \end{cases}$$

• Cinétique des systèmes matériels

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} \dot{r} \\ r\dot{\theta} \\ \dot{z} \end{pmatrix} \quad \vec{a} = \begin{pmatrix} \ddot{r} - r\dot{\theta}^2 \\ r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} \quad \vec{v} = \frac{ds}{dt} \vec{T} \quad \vec{a} = \vec{a}_T + \vec{a}_N = \frac{dv}{dt} \vec{T} + \frac{v^2}{R} \vec{N}$$

$$\vec{\sigma}_A = \vec{\sigma}_B + \overrightarrow{AB} \wedge m\vec{v}_g \text{ (VARIGNON)} \quad \vec{\sigma}_A = \vec{\sigma}^* + \overrightarrow{AG} \wedge m\vec{v}_g \quad E_c = E_c^* + \frac{1}{2} m v_G^2 \text{ (KÖNIG)}$$

• Cinématique du solide

$$\vec{v}_P = \vec{v}_Q + \overrightarrow{PQ} \wedge \vec{\Omega}_S \quad \sigma_\Delta = \mathcal{J}_\Delta \Omega \quad E_c = \mathcal{J}_\Delta \frac{\Omega^2}{2} \quad \overrightarrow{M_A} = \overrightarrow{M_B} + \overrightarrow{BA} \wedge \vec{F}$$

• Lois de COULOMB

$$\text{Glissement (opposé au mouvement)} : \|\vec{T}\| = f \|\vec{N}\| \quad \text{Non glissement} : \|\vec{T}\| \leq f \|\vec{N}\|$$

• Puissance et travail

$$\mathcal{P}_{\text{glisseur}} = \vec{F} \cdot \vec{v}_{pt \text{ app}} \quad \mathcal{P}_{\text{couple}} = \vec{\Omega} \cdot \vec{\Gamma} \quad \delta W_{\text{conserv}} = -dE_p$$
$$\frac{dE_c}{dt} = \frac{\delta W_{int}}{dt} + \frac{\delta W_{ext}}{dt} = \mathcal{P}_{int} + \mathcal{P}_{ext}$$

◇ Opérateurs différentiels

• Opérateur gradient

$$dU = \overrightarrow{\text{grad}} U \cdot \overrightarrow{dl}$$

$$\overrightarrow{\text{grad}} U = \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial y} \\ \frac{\partial U}{\partial z} \end{pmatrix} \quad \overrightarrow{\text{grad}} U = \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial r} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial \theta} \\ \frac{\partial U}{\partial z} \end{pmatrix} \quad \overrightarrow{\text{grad}} U = \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial r} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial \theta} \\ \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial U}{\partial \varphi} \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{\text{grad}} U = \vec{\nabla} U \quad \text{où (en cartésiennes)} \quad \vec{\nabla} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{pmatrix}$$

$$\text{Formule du gradient : } \oint_{(\Sigma)} U(M, t) \overrightarrow{dS} = \iiint_{(V)} \overrightarrow{\text{grad}} U(M, t) d\tau$$

• Opérateur divergence

$$\oint_{(\Sigma)} \vec{a}(M, t) \cdot \overrightarrow{dS} = \iiint_{(V)} \text{div} \vec{a}(M, t) d\tau, \forall V$$

$$\text{div} \vec{a} = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z}$$

$$\text{div} \vec{a} = \vec{\nabla} \cdot \vec{a}$$

• Opérateur rotationnel

$$\oint_{(\mathcal{C})} \vec{a}(M, t) \cdot \overrightarrow{dl} = \iint_{(\mathcal{S})} \overrightarrow{\text{rot}} \vec{a}(M, t) \cdot \overrightarrow{dS}$$

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{a} = \vec{\nabla} \wedge \vec{a}$$

• Opérateur laplacien

$$\Delta U = \text{div} (\overrightarrow{\text{grad}} U) \quad \vec{\Delta} \vec{a} = \overrightarrow{\text{grad}} (\text{div} \vec{a}) - \overrightarrow{\text{rot}} (\overrightarrow{\text{rot}} \vec{a}) = \nabla^2 \vec{a}$$

$$\text{En cartésiennes : } \Delta U = \nabla^2 U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \quad \vec{\Delta} \vec{a} = \begin{pmatrix} \Delta a_x \\ \Delta a_y \\ \Delta a_z \end{pmatrix} \quad \Delta \left(\frac{1}{r} \right) = 0$$

• Quelques formules de calcul

⊗ À savoir par coeur :

$$\overrightarrow{\text{rot}} (\overrightarrow{\text{grad}} U) = 0 \quad \text{div} (\overrightarrow{\text{rot}} \vec{a}) = 0 \quad \overrightarrow{\text{rot}} (\overrightarrow{\text{rot}} \vec{a}) = \overrightarrow{\text{grad}} (\text{div} \vec{a}) - \vec{\Delta} \vec{a}$$

$$\vec{u} \wedge (\vec{v} \wedge \vec{w}) = (\vec{u} \cdot \vec{w}) \vec{v} - (\vec{u} \cdot \vec{v}) \vec{w}$$

⊗ À savoir retrouver :

$$\overrightarrow{\text{grad}} (U V) = U \overrightarrow{\text{grad}} V + V \overrightarrow{\text{grad}} U \quad \text{div} (\vec{a} \wedge \vec{b}) = \vec{b} \cdot \overrightarrow{\text{rot}} \vec{a} - \vec{a} \cdot \overrightarrow{\text{rot}} \vec{b}$$

• Dérivée particulière

$$\frac{D \vec{a}}{Dt} = \frac{\partial \vec{a}}{\partial t} + \left(\vec{a} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \right) (\vec{a}) = \frac{\partial \vec{a}}{\partial t} + \overrightarrow{\text{grad}} \left(\frac{a^2}{2} \right) - \vec{a} \wedge \overrightarrow{\text{rot}} \vec{a}$$

◇ Électromagnétisme

● Électrocinétique

$$i = C \frac{dU_c}{dt} \quad q = CU \quad U = L \frac{di}{dt} \quad e = r\eta \text{ (THÈVENIN ~ NORTON)}$$

Ampli Op : **Idéal** $\Rightarrow i^{\oplus} = i^{\ominus} = 0$ et en régime **linéaire** $\Rightarrow V^{\oplus} = V^{\ominus}$

$$\tau = RC = \frac{L}{R} \quad \mathcal{E} = \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}CE^2 \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

● Filtres

$$x = \frac{\omega}{\omega_c} \quad \underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1+jx} \quad \underline{H}(j\omega) = \frac{H_0 jx}{1+jx}$$

$$x = \frac{\omega}{\omega_0} \quad \underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1-x^2+j\frac{x}{Q}} \quad \underline{H}(j\omega) = \frac{-x^2 H_0}{1-x^2+j\frac{x}{Q}} \quad \underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1+jQ\left(x-\frac{1}{x}\right)} \quad \Delta x = \frac{1}{Q}$$

⊗ Résonance si $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$. Si $Q \gg 1 \Rightarrow x_r \simeq 1$ et $\beta = Q$ la surtension de résonance

● Puissance en régime sinusoïdal

$$\mathcal{P}_{instant} = U i \quad \mathcal{P}_{moy} = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi = \Re(\underline{Z}) I_{eff}^2 = \Re(\underline{Y}) U_{eff}^2$$

⊗ Adaptation d'impédance : $Z_c = Z_g^*$

● Electro & Magnéto statique

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint \frac{\rho(P)}{PM^2} \vec{u}_{PM} d\tau \text{ (GAUSS)} \quad V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint \frac{\rho}{r} d\tau$$

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i \vec{dl} \wedge \vec{u}_{PM}}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint \frac{\vec{j} \wedge \vec{u}_{PM}}{r^2} \text{ (BIOT & SAVART)}$$

$$\Phi_S(\vec{E}) = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} \quad \Phi_S(\vec{g}) = -4\pi G M_{int} \quad \oint_{\mathcal{C}} \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 I_{enlacé}$$

$$d\vec{f}_{LAPLACE} = i \vec{dl} \wedge \vec{B} = \vec{j} d\tau \wedge \vec{B} \quad C = \frac{\epsilon_0 S}{e}$$

⊗ Dipôles :

$$\vec{p} = q \overline{NP} \quad V(r, \theta) = \frac{p \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}} V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} \begin{pmatrix} 2p \cos \theta \\ p \sin \theta \end{pmatrix} \quad \vec{\Gamma} = \vec{P} \wedge \vec{E}_{ext}$$

$$\vec{M} = \vec{S} I \quad \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \begin{pmatrix} 2M \cos \theta \\ M \sin \theta \end{pmatrix} \quad \vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B} \quad Ep = -\vec{p} \cdot \vec{E}_{ext} = \vec{M} \cdot \vec{B}_{ext}$$

● Loi d'OHM

$$I = \frac{dQ}{dt} = \iint_S \vec{j} \cdot \vec{dS} \quad \vec{j} = nq\vec{v} \quad \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad \rho = \frac{1}{\gamma} (\Omega.m) \quad \mathcal{P}_{JOULE} = \vec{j} \cdot \vec{E} = \gamma E^2$$

$$\text{En série : } R = \int \frac{\rho dl}{S} \quad \text{En parallèle : } G = \int \frac{\gamma dS}{l} \Rightarrow \text{Fil cylindrique : } R = \frac{\rho l}{S}$$

• Équations de MAXWELL

$$\operatorname{div} \vec{B}(M; t) = 0 \quad \overrightarrow{\operatorname{rot}} E(M; t) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}(M; t)$$

$$\operatorname{div} \vec{E}(M; t) = \frac{\rho(M; t)}{\epsilon_0} \quad \overrightarrow{\operatorname{rot}} B(M; t) = \mu_0 \vec{j}(M; t) + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}(M; t)$$

$$\vec{B} = \overrightarrow{\operatorname{rot}} \vec{A} \quad \vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \overrightarrow{\operatorname{grad}} V \quad \vec{E}_2 - \vec{E}_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}_{1 \rightarrow 2} \quad \vec{B}_2 - \vec{B}_1 = \mu_0 \vec{j}_S \wedge \vec{n}_{1 \rightarrow 2}$$

$$d\mathcal{P}_{\text{LORENTZ}} = \vec{j} \cdot \vec{E} d\tau \quad \vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} \quad e = \frac{\epsilon_0}{2} E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2 \quad (J.m^{-3})$$

• Propagation des OEM

$$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \quad \vec{B} = \frac{\vec{u} \wedge \vec{E}}{c} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}$$

• Milieux diélectriques

$$\vec{P} = \chi_e \epsilon_0 \vec{E} \quad \epsilon_r = 1 + \chi_e \quad n = \sqrt{\epsilon_r(\omega)}$$

• Induction

$$\vec{E}_m = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{v}_e \wedge \vec{B} \quad e_{AB} = \int_A^B \vec{E}_m \cdot d\vec{l} \quad e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \Phi = L i$$

◇ Phénomènes de propagation

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{ES} \quad c = \sqrt{\frac{E}{\mu_{vol}}} = \sqrt{\frac{T}{\mu_{lin}}} \\ k = \frac{\omega}{c} \quad \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi c}{\omega} = cT \quad v_\phi = \frac{\omega}{k'} \quad v_g = \frac{d\omega}{dk}$$

◇ Mécanique des fluides

● Statique des fluides

⊗ Relation fondamentale de la statique des fluides et applications :

$$\overrightarrow{df_p} = P \overrightarrow{dS} \quad \overrightarrow{\text{grad}} P = \overrightarrow{f_{vol}} \quad \frac{dP}{dz} = -\rho g \quad P(z) = P_0 \exp\left(\frac{-M_{air} g z}{RT_0}\right)$$

⊗ Poussée d'ARCHIMÈDE : $\vec{\Pi} = \vec{P}_A = -\rho V g$

● Cinématique des fluides

⊗ Conservation de la masse :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \vec{v} = 0 \quad \rho = C^{ste} \rightarrow \text{div } \vec{v} = 0 \rightarrow \vec{v} \cdot \vec{S} = C^{ste}$$

⊗ Vecteur tourbillon : $\vec{\Omega} = \frac{1}{2} \text{rot } \vec{v}$

● La viscosité

$$\overrightarrow{df_{viscosité}} = \eta \frac{dV_x}{dy} dS \vec{x} \quad \overrightarrow{f_{vol/viscosité}} = \eta \Delta \vec{v} \quad \nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (m^2.s^{-1})$$

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\overrightarrow{\text{grad}} P + \rho \vec{g} + \eta \Delta \vec{v} \quad \text{NAVIER-STOCKES}$$

On en déduit : BERNOULLI (permanent, parfait, incompressible, LdC/irrotationnel)

$$\rho \frac{v^2}{2} + P + \rho g z = C^{ste}$$

$$\overrightarrow{f_{flu \rightarrow sphère}} = -6\pi\eta r \vec{v} \quad \text{Re} = \frac{rv}{\nu} \quad \overrightarrow{f_{flu \rightarrow objet}} = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_x \text{ (coeff trainée)}$$

● Ondes acoustiques

$$c^2 = \frac{1}{\rho_0 \chi_s} \quad c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} \quad P = Z v \quad Z = \pm \rho_0 c$$

$$E = \frac{1}{2} \rho_0 v^2 + \frac{1}{2} \chi_s p^2$$

◇ Thermodynamique

● Coefficients thermo-élastiques

$$\alpha = \frac{1}{V} \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P \text{ Dilatation thermique} \quad \chi_T = \frac{-1}{V} \left. \frac{\partial V}{\partial P} \right|_T \text{ Compressibilité isotherme}$$

● Equations d'état

$$PV = nRT \quad \left(P + \frac{n^2}{V^2} a \right) (V - nb) = nRT \quad (\text{VDW})$$

● Capacités thermiques

$$C_V = \left. \frac{\partial U}{\partial T} \right|_V \leftrightarrow dU = C_V dT \quad C_P = \left. \frac{\partial H}{\partial T} \right|_P \leftrightarrow dH = C_P dT$$
$$C_P - C_V = nR \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V} \quad C_V = \frac{nR}{\gamma - 1} \quad C_P = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$$

● Loi de LAPLACE

$$TV^{\gamma-1} = C^{ste} \quad PV^\gamma = C^{ste'} \quad T^\gamma P^{1-\gamma} = C^{ste''}$$

● Fonctions d'état

$$H = U + PV \quad G = H - TS \quad F = U - TS \quad \delta W = -P_{ext} dV$$
$$dU = T dS - P dV \quad dH = T dS + V dP \quad dF = -S dT - P dV \quad dG = -S dT + V dP$$

● Formule de CLAPEYRON

$$h_2 - h_1 = T(v_2 - v_1) \left(\frac{dP}{dT} \right)_{eq}$$
$$\text{Glace}_{0^\circ\text{C}} \xrightarrow{334 \text{ kJ.kg}^{-1}} \text{Eau}_{0^\circ\text{C}} \xrightarrow[\text{donc } 418 \text{ kJ.kg}^{-1}]{4.18 \text{ kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \text{Eau}_{100^\circ\text{C}} \xrightarrow{2260 \text{ kJ.kg}^{-1}} \text{Vapeur}_{100^\circ\text{C}}$$

● Phénomènes de diffusion

$$\text{Loi de STEFAN : } \mathcal{P}_{tot} = \sigma T^4$$

$$\text{Loi de WIEN : } T \lambda_{max} \simeq 2800 \text{ K} \cdot \mu\text{m}$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \text{div } \vec{j} = 0 \text{ (conservation)} \quad \vec{j}_n = -D \overrightarrow{\text{grad}} C \text{ (FICK)} \quad \vec{j}_Q = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T \text{ (FOURIER)}$$
$$\text{part.m}^{-3} \quad \text{W.m}^{-2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \Delta T \text{ (eq chaleur)} \quad \Phi_{1 \rightarrow 2} = hS(T_1 - T_2) \text{ (NEWTON)}$$