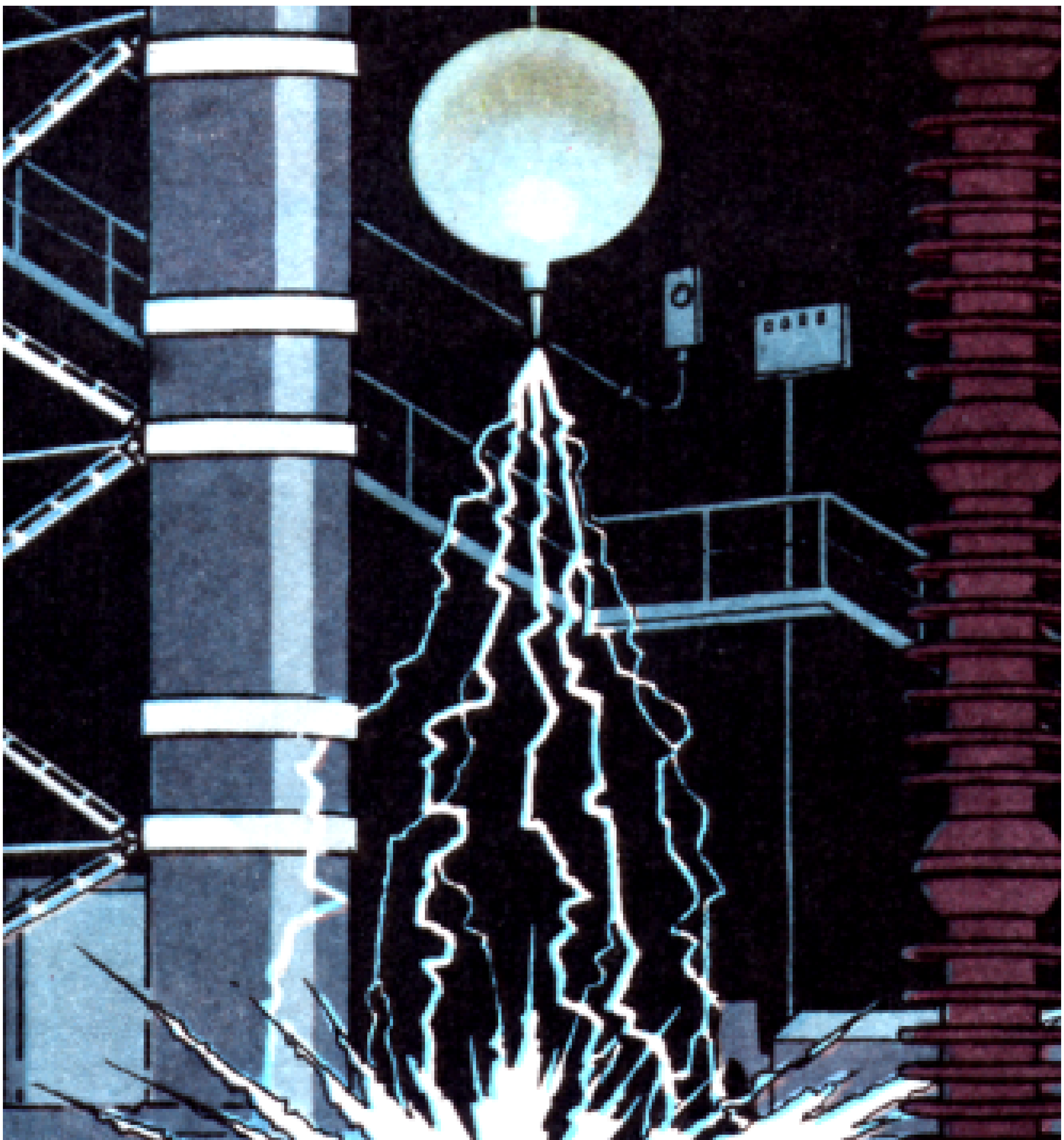
2021 - 2022

ÉLECTRICITÉ

Richard Avaert



Electricité : électrostatique

- Charge ponctuelle :

↳ objet volumique possédant un excès ou un déficit en porteurs de charge (électrons) observé depuis une distance bien plus grande que sa distance principale.

- Champ électrique :

↳ $\overrightarrow{E}_{P(A)} = K_{es} \cdot \frac{Q}{r_{pn}^2} \cdot \overrightarrow{u}_{mp}$ $\left(\frac{V}{m}\right)$ ou $\left(\frac{N}{C}\right)$

↳ $K_{es} = 9 \cdot 10^9 \, m/F$

↳ la charge crée le champ.

↳ les charges ne produisent aucun champ au droit d'elles-mêmes.

↳ une charge ponctuelle crée un champ radial

↳ $\overrightarrow{E}_{P(r)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \overrightarrow{u}_r$ $\left(\frac{V}{m}\right)$

- lignes de champs :

↳ les lignes de champs sont tangentes aux vecteurs du champ électrique.

↳ orientés dans le sens des vecteurs.

↳ parallèles → champ uniforme

↳ concentration des lignes → augmentation du champ

↳ éloignement des lignes → diminution du champ

↳ les lignes d'un même champ ne peuvent se croiser.

- dipôle

↳ charges de signes ≠ → champ le plus intense entre les 2 charges

↳ charges de même signe

↳ signe − : lignes de champs convergeantes

↳ signe + : lignes de champs divergeantes

→ pas de champs au centre

- charge non ponctuelles → $Q_T = \sum dQ_i$ → $\overrightarrow{E}_{OT(1)} = \sum d\overrightarrow{E}_{xi(1)}$

↳ charge linéique : $Q_T = \int_l \lambda \, dl$

↳ charge surfacique : $Q_T = \iint_S \sigma \, dS$ (C)

↳ charge volumique : $Q_T = \iiint_V \eta \, dV$

- théorème de Gauss

↳ $Q_T = \oiint_S \vec{n} \cdot \vec{D} \cdot dS$ où $\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E}_s$ (C/m^2)

↳ $\vec{E}_s = \frac{\vec{D}}{\varepsilon_0}$ $\left(\frac{V}{m}\right)$

↳ flux à travers d'une surface fermée

- forces électrostatique

↳ $\vec{F}_{es} = q \cdot \vec{E}_s$ (N)

↳ la force découle du champ → une charge ne produit aucun effet sur elle-même

↳ entre 2 charges : $|\vec{F}_{es\,1(2)}| = |\vec{F}_{es\,2(1)}|$

↳ $\vec{F}_{est} = Q_{n+1} \cdot \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_{si}$ (N)

- travail électrostatique

↳ $T_{es(A \to B)} = q \cdot \int_A^B \vec{E}_{s(i)} \cdot \vec{ds}_{(i)}$ (J)

- circulation électrostatique

↳ $C_{es} = \int_C \vec{E}_s \cdot \vec{ds}$ (V) → $\left(\frac{T_{es}}{q}\right)$

↳ $C_{es(AA)} = 0$ peut importe le trajet

↳ C_{es} entre 2 points sera le même peut importe le trajet

- potentiel électrostatique.

↳ $U_{AB} = U_A - U_B = -\int_B^A \vec{E}_s \cdot \vec{ds}$ (V) ↳ $\vec{E}_s = -(\vec{\nabla} U)$

↳ la différence de potentiels équivaux au travail par unité de charges

↳ $\Delta U_B = 0$ si charges "concentrées" mais si charge "à l'infini"

↳ le référenciel choisi varie (borne de "masse")

↳ les lignes de champs vont toujours des régions de haut potentiel vers les bas potentiels

↳ une surface est une équipotentielle si elle est normale aux lignes de champs.

↳ $U_{(r)} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)$ → potentiel coulombien (champ radial)

↳ $U_{AB} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot (x_B - x_A)$ → plan infini chargé

Electricité : électrostatique

- milieux conducteurs
  - ↪ équilibre électrostatique → champ interne = 0 sous un champ externe
    - ↪ répartition surfacique des charges → $|\vec{E}_0| = \frac{\sigma}{2.\varepsilon_0}$ au sein de la pellicule en moyenne
  - ↪ ≈ 1 électron libre par atome
  - ↪ effet de pointe → concentration du champ dans les zones à faibles rayon de courbure
  - ↪ $\vec{E}_d$: champ disruptif : champ pour lequel un isolant devient conducteur en s'ionisant
  - ↪ écran électrostatique (conducteur avec cavité)
    - ↪ si $\vec{E}_{0ext} \neq 0$ → $Q_{cav} = 0$ → pas d'influence à l'intérieur
    - ↪ si $Q_{cav} \neq 0$ → $\vec{E}_{0ext} = 0$ → pas d'influence à l'extérieur
    - ↪ cage de Faraday

- milieux diélectrique (isolants)
  - ↪ ≈ 1 électron libre par 10^{21} atomes
  - ↪ sous un champ externe → polarisation → champ interne ≠ 0 (opposé au externe)
    - ↪ répartition volumique des charges
  - ↪ $\varepsilon = \varepsilon_0 . \varepsilon_r$ (F/m) → $\varepsilon_0 = 8,854.10^{-12}$ F/m

- condensateur
  - ↪ 2 conducteurs (équipotentielles) séparés par un diélectrique (isolant)
  - ↪ symbole : 
  - ↪ analogie : cuve
  - ↪ si champ interne > champ disruptif → claquage du diélectrique
  - ↪ caractérisé par : - sa capacité C en (F)
    - son potentiel max U_{max} (V) → antagonistes
  - ↪ pas considérer le champ externe car ≪ que le champ interne
  - ↪ $C = Q/U$
    - ↗ isolé : $U = \frac{Q}{C}$ → la charge induit le potentiel
    - ↘ non isolé : $Q = CU$ → le potentiel induit la charge

→

• association des condensateurs

↳ série : $Q_T = Q_1 = Q_2$ et $U_T = U_1 + U_2$ (le même courant les traversant)

↳ analogie : 2 seaux l'un dans l'autre → même capacité, plus grande résistance

↳ $\frac{1}{C_T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i} \longrightarrow C_T = \frac{C_i}{n}$ lorsque tous identique

↳ $C_T = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2}$ pour 2 condensateurs

↳ $U_T = \sum_{i=1}^{n} U_i \longrightarrow U_T = n.U_i$ lorsque tous identique

↳ parallèle : $Q_T = Q_1 + Q_2$ et $U_T = U_1 = U_2$ (relié par 2 équipotentielles)

↳ analogie : vases communicant

↳ $C_T = \sum_{i=1}^{n} C_i \longrightarrow C_T = n.C_i$ lorsque tous identique

↳ $U_T = U_i$ (le plus petit de l'ensemble)

⚠ si les 2 bornes ne sont pas reliées, le système est en antenne, pas de mouvement de charge possible.

• énergie électrostatique

↳ $W_e = \frac{Q^2}{2C} \longrightarrow W_e = \frac{1}{2} C.U^2$ (ou $W_e = \frac{1}{2} Q.U$)

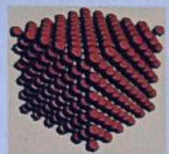
↳ l'énergie stockée dans un condensateur est contenue dans le diélectrique

↳ le travail nécessaire à polariser les molécules et rendu lorsque le champ disparait et donc l'énergie est restituée. ($W_e \rightarrow |\vec{F}|.d$)

↳ si il n'y a pas de mouvement de charge, l'énergie est conservée

Le condensateur : concept fondamentaux
les matériaux : rappel

Milieux conducteurs



100 . 10^{21}
électrons LIBRES

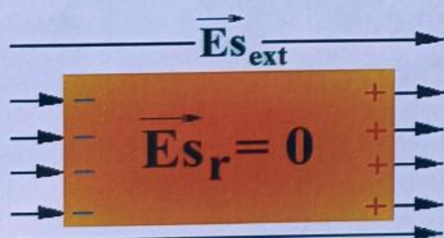
Cent mille milliards de milliards

10^3 mm³ (1 cm³)

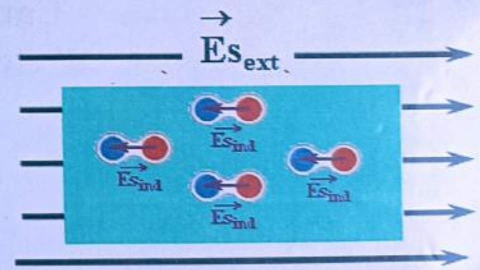
Milieux diélectriques

100
électrons LIBRES

Milieux conducteurs		Milieux diélectriques
≈ 1 électron LIBRE par atome		≈ 1 électron LIBRE par 10^{21} atomes
Electriquement neutre	← **Sans** champ électrique externe →	Electriquement neutre
Migration des charges	← **Avec** champ électrique externe →	Migration des charges
Très importante Très rapide		Très faible Très lente
Equilibre électrostatique		Polarisation électrostatique



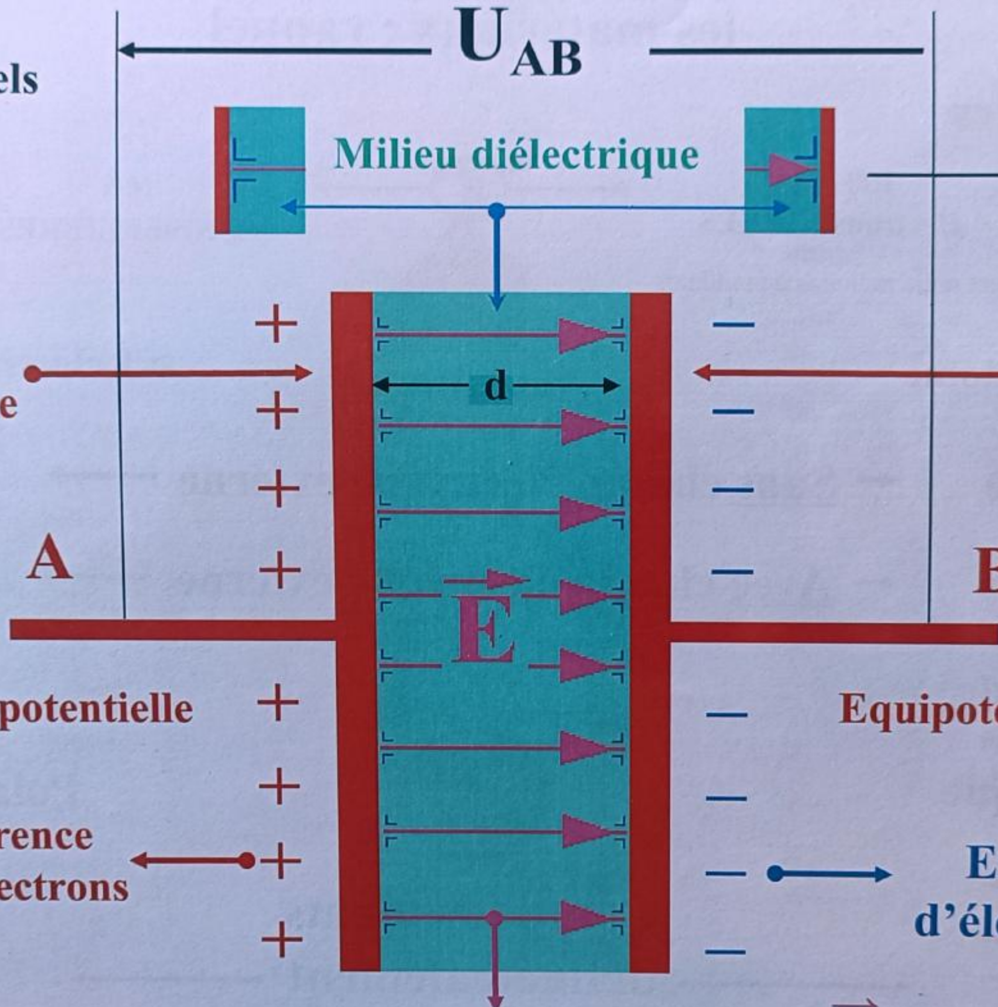
← **Comportements diamétralement opposés** →



Milieux conducteurs	Milieux diélectriques
Champ électrique interne = 0	Champ électrique interne ≠ 0
Répartition surfacique des charges	Répartition volumique des charges

Le condensateur : concept fondamentaux

Différence de potentiels
aux bornes
du condensateur



Orthogonalité entre
les lignes de champ et
les surfaces équipotentielles

Armature A
« Surface » conductrice
équipotentielle

Pellicules volumique
qui présente une

Equipotentielle

Carence
d' électrons

Armature B
« Surface » conductrice
équipotentielle

Pellicules volumique
qui présente un

Equipotentielle

Excès
d'électrons

$$U_{AB} = -\int_B^A \vec{E} \cdot \vec{ds}$$

$\vec{E} \,/\!/\, \vec{ds}$

$$|\vec{E}| = U_{AB} / d \quad \text{(m)}$$

(V/m) (V)

Lignes de champ du vecteur $\vec{E}$

Charges électriques ⟶ **Champ électrique** ⟶ **Potentiel électrique**

Rappel : Le champ électrique est dirigé des régions de l'espace de potentiels élevés vers les régions de l'espace de faibles potentiels

Électricité : électrocinétique

- mobilité des charges entravée par : - les dissymétries structurelles
  - l'agitation thermique
  - les chocs inter particules

↳ vitesse particulaire moyenne

↳ $\vec{v}_1^0 = -\frac{q_i \cdot \vec{E}_0}{m} \cdot \tau$ (m/s) → vitesse de dérive moyenne.

- courant

↳ $\vec{i} = \eta_q \cdot \vec{V}_d$ (A/m^2)

↳ $I = \iint_S \vec{n} \cdot \vec{i} \, dS$ (A) → ($I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, la quantité de charge traversant S durant Δt)

- conductibilité γ (S/m) × résistivité ρ $(\Omega.m)$

↳ $\vec{i} = \gamma \cdot \vec{E}_0$

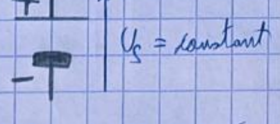
↳ $\vec{i} = \frac{\vec{E}_0}{\rho}$ → $\rho = \frac{1}{\gamma}$ ⚠ : $\rho = f(T°)$

↳ les conducteurs augmente leur résistivité avec la T (loi CTP)

↳ les isolants diminue leur résistivité avec la T (loi CTN)

- générateurs

↳ symbole :



↳ générateurs électrochimiques (électricité en continu) (oxydo-réduction)

↳ pile
↳ accu → empilement de métaux d'électronégativité ≠ séparé par une solution acide

↳ produit un champ similaire à un dipôle

↳ force électromotrice E (V) → potentiel produit

- association des résistances

↳ série : $R_T = \sum_{i=1}^{n} R_i$ → $U_T = U_S = U_1 + U_2$ et $I_T = I_1 = I_2$

↳ parallèle : $\frac{1}{R_T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$ → $U_T = U_S = U_1 = U_2$ et $I_T = I_1 + I_2$

- résistances

↪ reluctance $\mathcal{R} = \frac{l}{\gamma . S}$ (Ω)

↪ résistance $R = \mathcal{R}$

↪ $R = \frac{\rho . l}{S}$ (Ω)

↪ composé d'un conducteur enveloppé dans un isolant afin de "séparer" les équipotentielles

↪ puissance max P_{max} (W)

↪ résistance idéale : $\Delta R = 0$

↪ résistance "variable" : $\Delta T°_{ext} \to \Delta \rho \to \Delta R \neq 0$

↪ résistance "non linéaire" : $\Delta R = f(I) \neq 0 \to \Delta I \to \Delta R \neq 0 \to$ effet boucle

- loi d'Ohm

↪ $U = R.I$ (V) → chute de tension / différence de potentiel

↪ $I = \frac{E}{R}$ (A)

↪ $\vec{i} = \frac{\vec{E_0}}{\rho}$ (forme locale de la loi d'ohm)

(↪ $E \to \vec{E_0} \to \rho \to \vec{i} \to I \to R \to U$)

- transformation énergétique

↪ $P° = U.I$

↪ $P = \vec{E_0} . \vec{i}$ (forme locale de la puissance)

- loi de Joule

↪ $P° = \frac{U^2}{R} = R.I^2$

↪ $P = \frac{E_0^2}{\rho} = \frac{\rho}{i^2}$ (forme local de la loi de Joule)

Types de systèmes : isolés / non isolés

Isolés ⟵ Lois des systèmes ⟶ Non isolés

$U = Q / C$ $Q = C \,.\, U$

Associations des condensateurs : parallèles / séries / mixtes

$W_{ec} = \frac{C.U^2}{2}$

Série ⟵ Lois d'associations ⟶ Parallèle

Série : $U_T = \Sigma\, U_i$ $1/C_T = \Sigma\, 1/C_i$

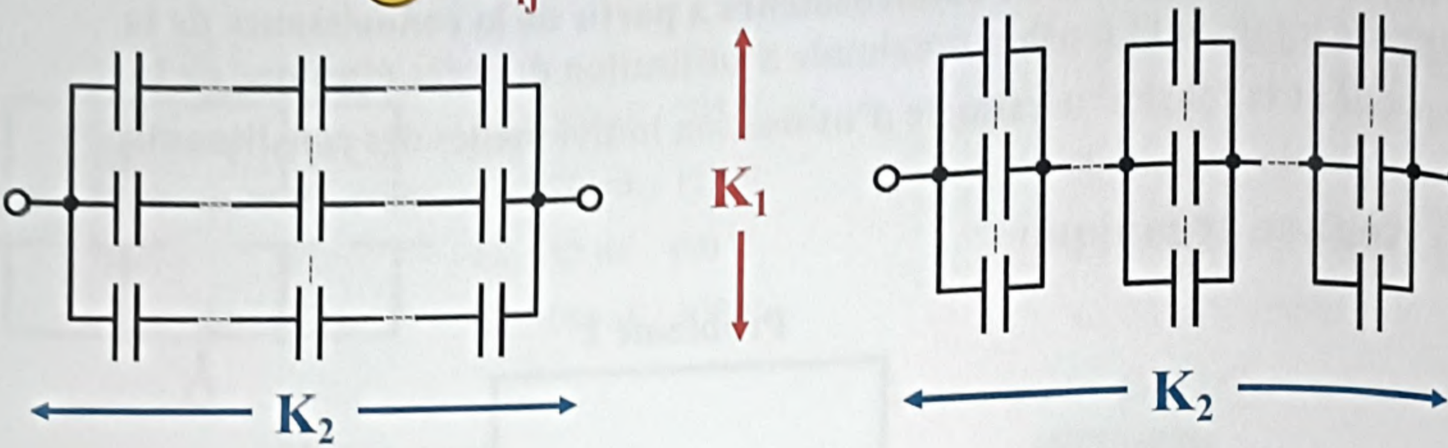
Parallèle : $U_T = U_i$ $C_T = \Sigma\, C_i$

Exercice dirigé n°18 : les associations de condensateurs

3 : Analyse fonctionnelle

Les associations mixtes symétriques de condensateurs

(!) $C_{ij} \equiv \longrightarrow C = \; ; \; U_{max} =$



$$C_T = \frac{K_1 \cdot C}{K_2}$$

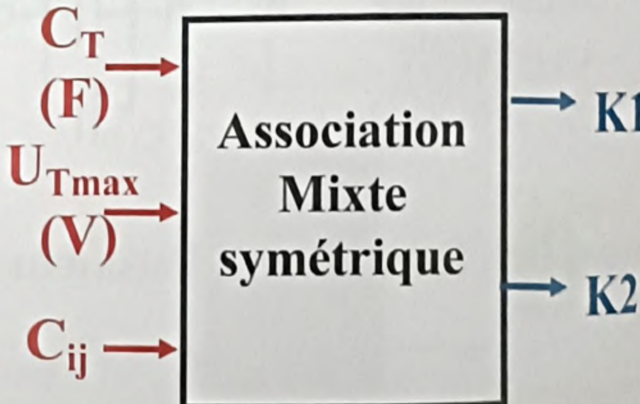
$$U_{Tmax} = K_2 \cdot U_{max}$$

Si Cij ≡, ces deux montages sont équivalents

Cas a (théorie)

$C_{ij} \rightarrow C = \; ; U_{max} =$

Cas b (pratique)



$C_{ij} \rightarrow C = \; ; U_{max} =$