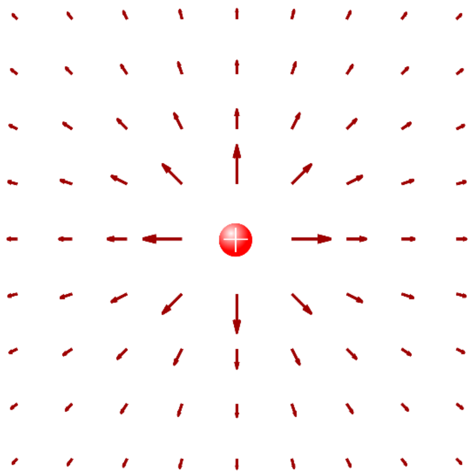
Éléments de Physique : Électromagnétisme

CHAPITRE 1 : FORCE ET CHAMP ÉLECTRIQUES

Jérémy Brisbois – 2023-2024

Table des matières

1. Charge électrique
2. Loi de Coulomb
3. Champ électrique
4. Cas particuliers : dipôle et plans chargés



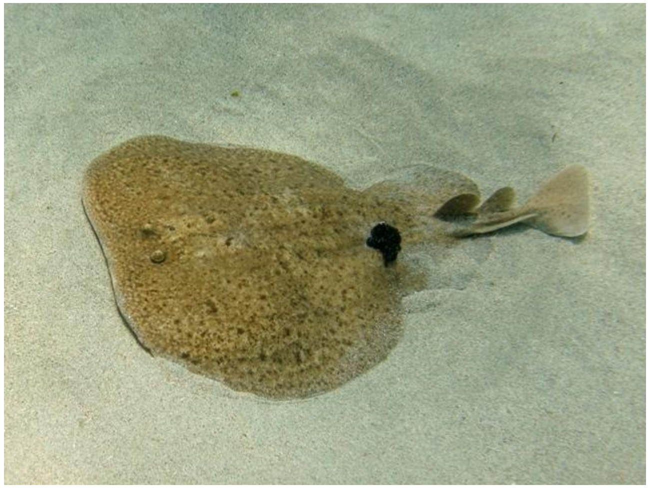
Un peu d'histoire

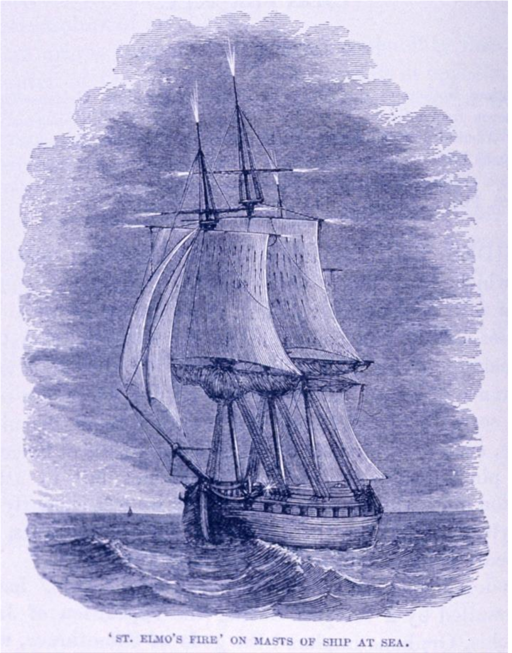
L'**électricité** est un phénomène qui se manifeste de nombreuses manières dans la nature.

Thalès de Milet (-600) remarque qu'un morceau d'ambre attire certains matériaux légers : **électricité statique**

Un peu d’histoire

Autres exemples : foudre, torpilles, feu de Saint-Elme…



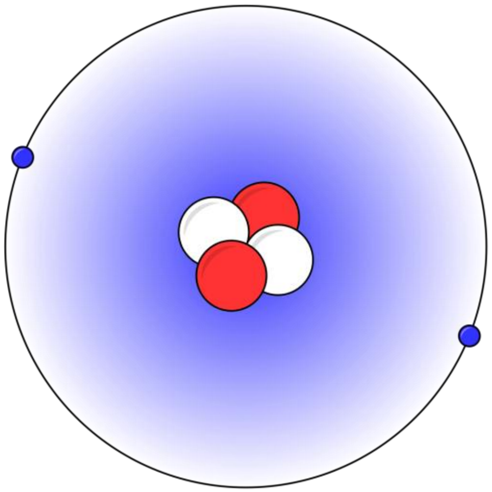


Charge électrique

La **charge électrique** est une propriété de la matière. Il en existe 2 types : positive ou négative.

Unité : le **coulomb** [C]

Origine microscopique des charges : protons (p+) et électrons (e-)



Charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

$q_e = -e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C

$q_p = e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

Un coulomb est une grandeur énorme, équivalent à 6×10^{18} électrons !

Matière neutre : nombre de p+ = nombre d'e-

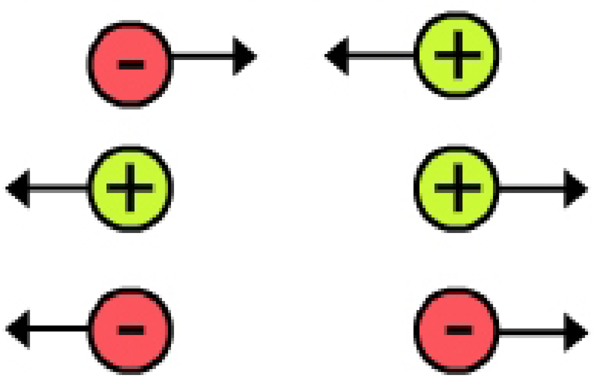
Force de Coulomb

Conservation de la charge

La charge totale d’un système isolé reste constante.

Force de Coulomb

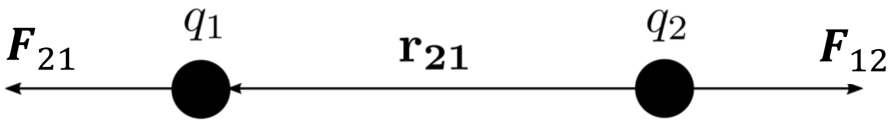
Une force, appelée **force de Coulomb**, apparaît entre deux objets chargés. Son orientation dépend du signe des charges.



Loi de Coulomb

Entre deux charges ponctuelles, la force est donnée par la **loi de Coulomb** et

- est proportionnelle aux charges q_1 et q_2
- varie en $\frac{1}{r_{21}^2}$
- est radiale : $\boldsymbol{F}_{21} \parallel \boldsymbol{r}_{21}$ (vecteurs)



$$\boxed{\boldsymbol{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{21}^2}\hat{\boldsymbol{r}}_{21}}$$

$\hat{\boldsymbol{r}}_{21}$ est le vecteur unitaire allant de la charge 2 vers la charge 1.

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ C².s².kg⁻¹.m⁻³ est la **permittivité diélectrique du vide**.

Champ électrique

Principe de superposition

En présence de plusieurs charges q_i, la force totale sur une charge q placée en $\boldsymbol{r}$ est :

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \boldsymbol{F}_3 + \cdots = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_1}{r_1^2}\hat{\boldsymbol{r}}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_2}{r_2^2}\hat{\boldsymbol{r}}_2 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_3}{r_3^2}\hat{\boldsymbol{r}}_3 + \cdots$$

$$= q\,\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1^2}\hat{\boldsymbol{r}}_1 + \frac{q_2}{r_2^2}\hat{\boldsymbol{r}}_2 + \frac{q_3}{r_3^2}\hat{\boldsymbol{r}}_3 + \cdots\right)$$

$$= q\boldsymbol{E}$$

$\hat{\boldsymbol{r}}_i$ = vecteurs unitaires allant de q_i vers q.

Le **champ électrique** $\boldsymbol{E}$ en $\boldsymbol{r}$ correspond à la force exercée sur une charge unitaire placée en $\boldsymbol{r}$.

Pour une charge ponctuelle Q, le champ électrique est donné par

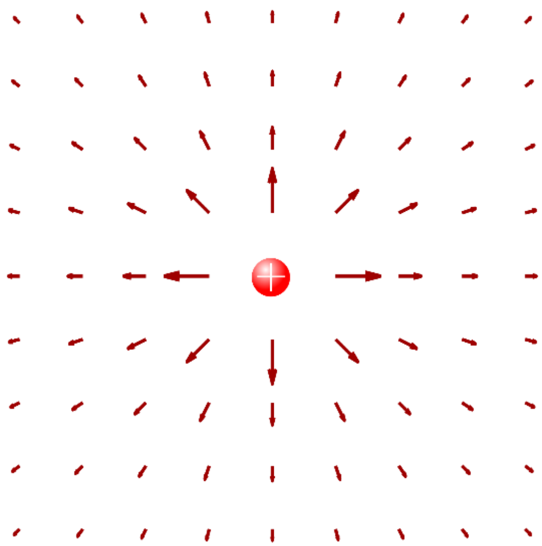
$$\boxed{\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}}$$

Représentation du champ électrique

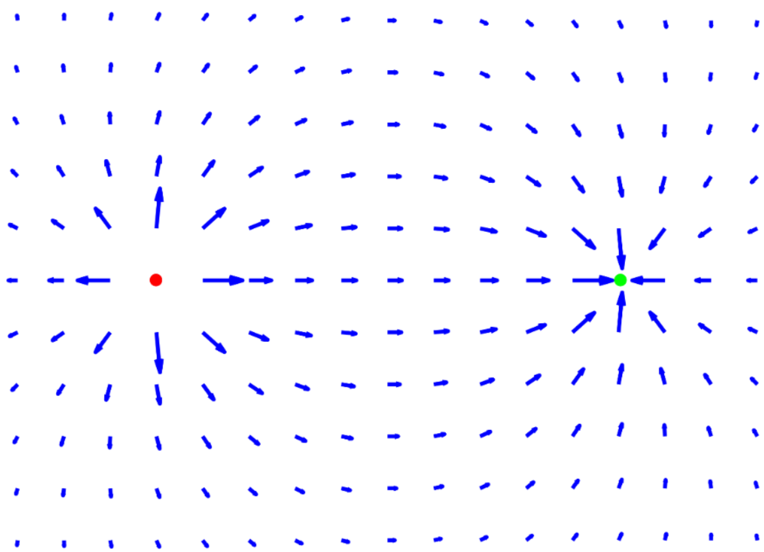
Si le signe et la valeur de Q changent, $\boldsymbol{F}$ est modifiée mais pas $\boldsymbol{E}$:

- $\boldsymbol{E}$ est un champ et est donc une **propriété de l'espace** uniquement
- $\boldsymbol{E}$ est **vectoriel** (direction et sens du champ)

Le vecteur champ électrique est défini en chaque point de l'espace.



charge positive



charge + et charge -

Représentation du champ électrique

Le champ électrique créé par une charge Q en un point donné est orienté

- vers Q si $Q < 0$
- à l'opposé de Q si $Q > 0$

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}$$

La force exercée sur une charge q placée dans $\boldsymbol{E}$ est

- dans le même sens que $\boldsymbol{E}$ si $q > 0$
- dans le sens opposé à $\boldsymbol{E}$ si $q < 0$

$$\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E}$$

Principe de superposition

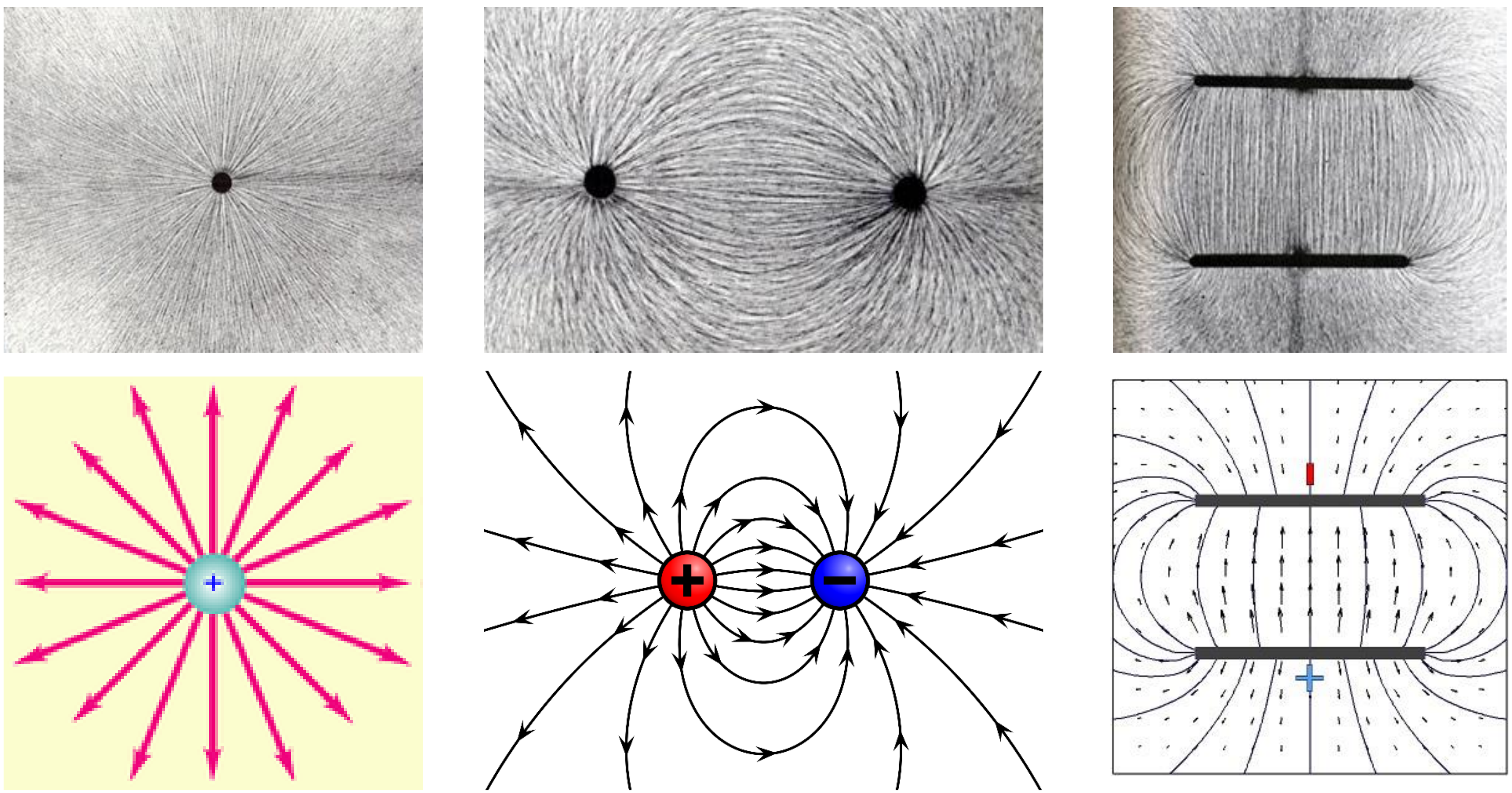
En présence de plusieurs charges q_i, le champ électrique total en $\boldsymbol{r}$ est :

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{E}_1(\boldsymbol{r}) + \boldsymbol{E}_2(\boldsymbol{r}) + \boldsymbol{E}_3(\boldsymbol{r}) + \cdots$$

Lignes de champ

Le champ électrique est parallèle aux **lignes de champ**.

Les lignes de champ ne se croisent jamais ! Module de $\boldsymbol{E}$ pas constant !



Analogie avec le champ gravitationnel

Force gravitationnelle

La force gravitationnelle qui s'exerce sur une masse m placée à une distance r d'une autre masse M s'écrit :

$$\boldsymbol{F}_g = -G\frac{mM}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}} = -m\boldsymbol{g}$$

Unités de $\boldsymbol{g}$: N/kg

Force électrique

La force électrique qui s'exerce sur une charge q placée à une distance r d'une autre charge Q s'écrit :

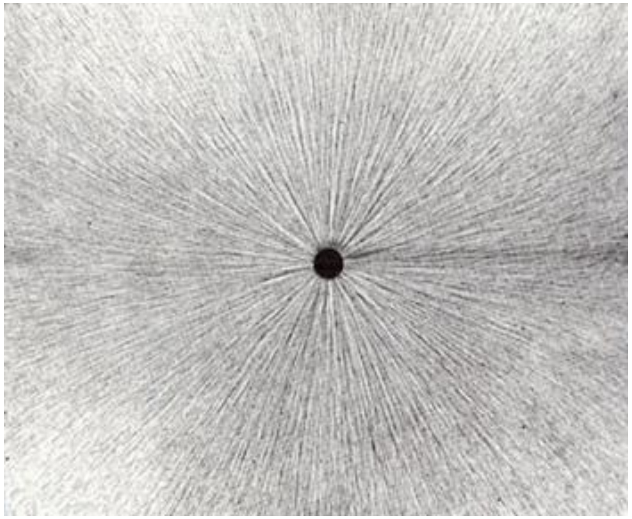
$$\boldsymbol{F}_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}} = q\boldsymbol{E}$$

Unités de $\boldsymbol{E}$: N/C

Différence importante : la force électrique est attractive ou répulsive suivant le signe des charges, la force gravitationnelle est toujours attractive (il n'existe pas de masse négative).

Cas particulier : charges ponctuelles

Charges ponctuelles



une charge q :
$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}$$

deux charges :
$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r_1^2}\hat{\boldsymbol{r}}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{r_2^2}\hat{\boldsymbol{r}}_2$$

N charges:
$$\boldsymbol{E} = \sum_{i}^{N}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i}{r_i^2}\hat{\boldsymbol{r}}_i$$

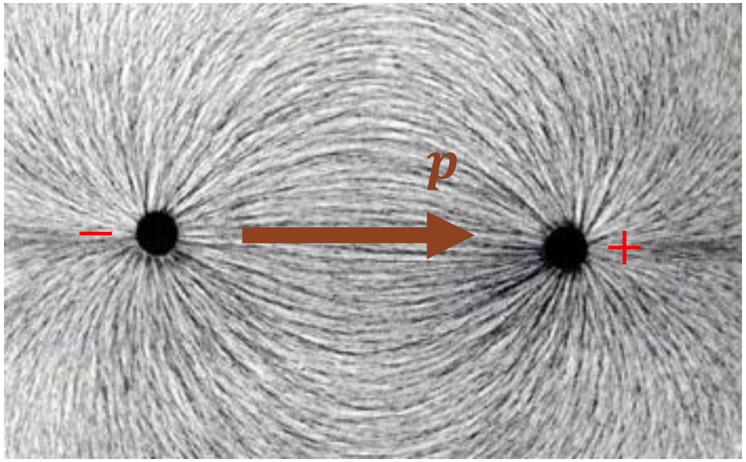
Cas particulier : dipôle

Dipôle électrique

Deux charges, $q_2 = -q_1$, séparées d'une distance d.

Moment dipolaire : $\boldsymbol{p} = q\boldsymbol{d}$ (vecteur orienté de la charge – vers +)

Moment dipolaire pour une distribution de i charges : $\boldsymbol{p} = \sum_i q_i \boldsymbol{r}_i$



Application : une antenne est un dipôle, qui oscille dans le temps (GSM, WiFi, radio, TV...)

Cas particulier : plan chargé

Plan chargé (infini)

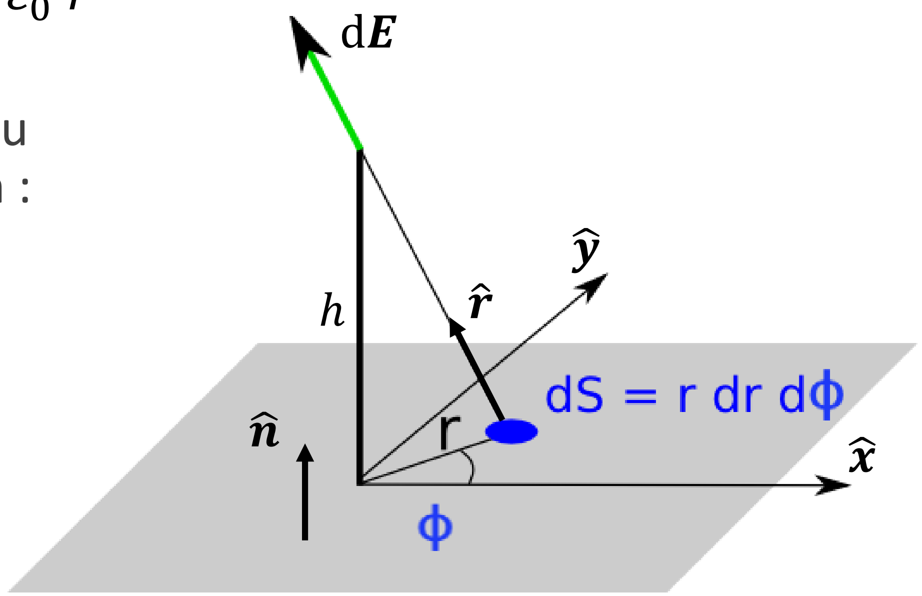
- Charge surfacique $\sigma =$ charge par unité de surface [C/m²]
- Chaque élément de charge $\mathrm{d}q = \sigma\,\mathrm{d}S$ fournit une contribution $\mathrm{d}\boldsymbol{E}$ au champ électrique total $\boldsymbol{E}$:

$$\mathrm{d}\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathrm{d}q}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}$$

- Pour obtenir $\boldsymbol{E}$ à une distance h du plan, il faut intégrer sur tout le plan :

$$\boxed{\boldsymbol{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{\boldsymbol{n}}}$$

$\hat{\boldsymbol{n}} =$ normale à la surface

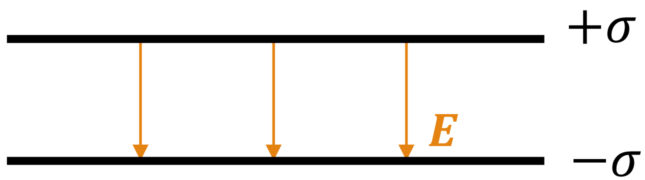


Cas particulier : deux plans (infinis)

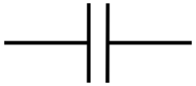
Deux plans infinis de charge opposée

Sommer le champ électrique de chaque plan : $\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_+ + \boldsymbol{E}_-$

- $\boldsymbol{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{\boldsymbol{n}}$ entre les plans
- 0 ailleurs



Cette situation est intéressante, car elle semblable au condensateur.

Symbole: 

Si le plan n'est pas infini, on a des différences au bord (inhomogénéités).