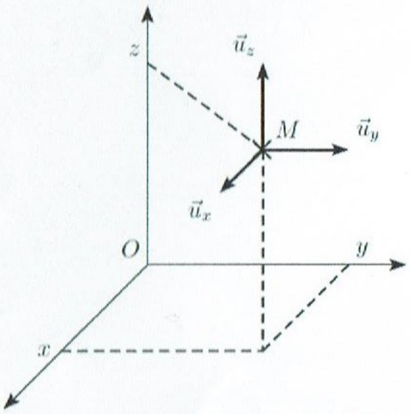
ELECTROSTATIQUE .

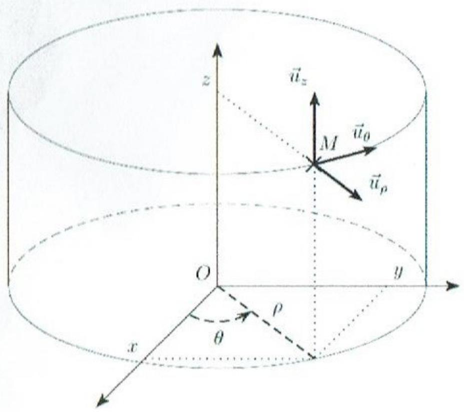
<u>Rappels :</u>coordonnées, éléments de surface et de volume .

<u>Coordonnées cartésiennes :</u>



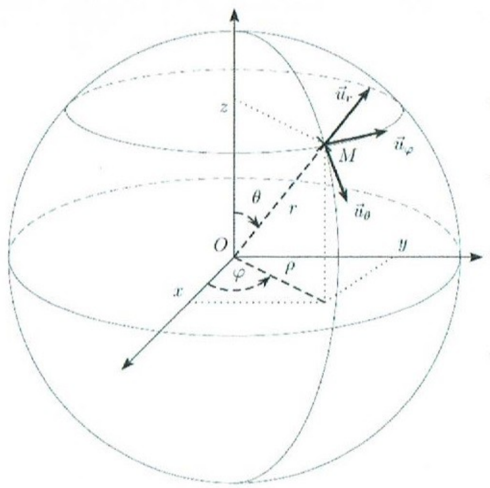
- ⋆ **Vecteur position :** $\overrightarrow{OM} = x\,\overrightarrow{u_x} + y\,\overrightarrow{u_y} + z\,\overrightarrow{u_z}$
- ⋆ **Déplacement élémentaire :** $\overrightarrow{d\ell} = dx\,\overrightarrow{u_x} + dy\,\overrightarrow{u_y} + dz\,\overrightarrow{u_z}$
- ⋆ **Surfaces élémentaires :** $dS = dx \times dy$, $dS = dy \times dz$ et $dS = dx \times dz$
- ⋆ **Volume élémentaire :** $d\tau = dx \times dy \times dz$

<u>Coordonnées cylindriques :</u>



- ⋆ **Vecteur position :** $\overrightarrow{OM} = r\,\overrightarrow{u_r} + z\,\overrightarrow{u_z}$
- ⋆ **Déplacement élémentaire :** $\overrightarrow{d\ell} = dr\,\overrightarrow{u_r} + r d\theta\,\overrightarrow{u_\theta} + dz\,\overrightarrow{u_z}$
- ⋆ **Surfaces élémentaires :** $dS = dr \times r d\theta$, $dS = r d\theta \times dz$ et $dS = dr \times dz$
- ⋆ **Volume élémentaire :** $d\tau = dr \times r d\theta \times dz$

<u>Coordonnées sphériques :</u>



- ⋆ **Vecteur position :** $\overrightarrow{OM} = r\,\overrightarrow{u_r}$
- ⋆ **Déplacement élémentaire :** $\overrightarrow{d\ell} = dr\,\overrightarrow{u_r} + r d\theta\,\overrightarrow{u_\theta} + r \sin\theta d\varphi\,\overrightarrow{u_\varphi}$
- ⋆ **Surfaces élémentaires :** $dS = dr \times r d\theta$, $dS = r d\theta \times r \sin\theta d\varphi$ et $dS = dr \times r \sin\theta d\varphi$
- ⋆ **Volume élémentaire :** $d\tau = dr \times r d\theta \times r \sin\theta d\varphi$

Objet de l'électrostatique :
L'électrostatique est la partie de l'électromagnétisme qui étudie les charges électriques à l'état statique et les interactions qu'elles exercent entre elles.
L'interaction électromagnétique est une des **quatre interactions fondamentales** : ces interactions régissent à elles seules tous les phénomènes physiques de l'univers.

Les trois autres interactions connues sont la gravitation (qui se manifeste surtout avec les corps très massiques), l'interaction forte (celle qui assure la cohésion des noyaux des atomes) et l'interaction faible (qui permet notamment les réactions nucléaires).

	Interaction faible	Interaction forte	Interaction électromagnétique	Interaction gravitationnelle
Echelle d'action	10^{-18} m	10^{-15} m	10^{-15} m à 10^{0}m	de 10^{0} m à 10^{26} m
Portée	Très courte	Courte	Infinie	Infinie
Rôle	Radioactivité	Cohésion du noyau	Cohésion de l'atome	Cohésion des galaxies

I Notion de charges et distributions de charges :

I-1 Notion de charge électrique :

a- Approche expérimentale (vu en 1S) :
Dès le XVIIIème siècle des expériences d'électrisation ont permis de montrer que certains matériaux (verre, plexiglas. . .), possèdent lorsqu'ils ont été frottés avec d'autres matériaux, la propriété d'attirer des corps légers (corps électrisé).
La matière est constitué d'atomes constitué de Z protons de charge +e = $1{,}9.10^{-19}$ C ,N neutrons de charge nulle et Z électrons de charge -e.
Le frottement produit un déséquilibre entre la charge des noyaux et la charge des électrons :
* Le matériau frotté acquiert une charge positive lorsque des électrons sont arrachés. C'est par exemple le cas du plexiglas lorsqu'on le frotte avec un mouchoir en papier ou du verre lorsqu'il est frotté avec de la laine.
* Le matériau frotté acquiert une charge négative lorsque des électrons sont captés (ébonite avec de la peau de chat).
Une fois que ces corps sont électrisés, ils peuvent attirer des corps légers en modifiant la répartition de charges à l'intérieur de ces corps (électrisation par influence).

Les interactions observables conduisent à distinguer deux types d'électrisation : deux objets semblablement électrisés se repoussent et s'attirent dans le cas contraire.
L'étude quantitative fut réalisé par Coulomb en 1785 et attribua à un état d'électrisation un paramètre q appelée charge électrique (grandeur scalaire extensive et algébrique).

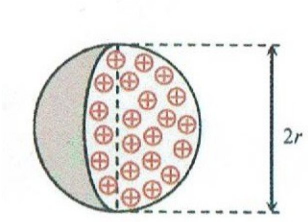
b- Propriétés de la charge :
* La charge q s'exprime en coulomb C .
* Au niveau microscopique , la charge est quantifiée, elle peut se mettre sous la forme : $q = \pm ne$ où n est un entier. $e = 1{,}6.10^{-19}$ C
* La charge se conserve : la charge totale d'un système isolé (absence de contact) reste constante au cours du temps.
* La charge totale d'un système est une grandeur indépendante du référentiel .

I-2 Distributions de charges :

a- Distribution discrète de charges :
Si un corps chargé a des dimensions petites par rapport à la distance d'observation , alors il peut être assimilé à une charge macroscopique ponctuelle .
Une distribution discrète de charges est un ensemble de charges ponctuelles .

b- Distributions continues de charges :
La notion de charge électrique ne s'applique qu'à des particules ponctuelles (extension spatiale de l'ordre de 10^{-15} m). L'observation de la matière se faisant à plus grande échelle on va donc comme en thermodynamique s'intéresser à des grandeurs moyennes.
Il convient donc de choisir une échelle adaptée :
* échelle microscopique : Échelle atomique caractérisé par une distance caractéristique $d \approx 10^{-10}$ m. La matière est alors discontinue.
* échelle macroscopique : La matière est observée à l'échelle humaine caractérisé par une distance $D \approx 10^{-3}$ m. La description de la matière est alors trop imprécise. Par exemple, un millimètre cube de dioxygène dans les conditions normales de température et de pression contient $8{,}6.10^{17}$ charges élémentaires.
* échelle mésoscopique : l'échelle mésoscopique est intermédiaire (grandeur caractéristique ℓ telle que $d \ll \ell \ll D$). Un petit volume $d\tau$ à cette échelle est assez grand pour contenir un très grand nombre de charges (moyenne des comportements microscopiques) et qu'on puisse considérer le milieu comme continu et assez petit pour considérer que la matière est décrite précisément par une densité locale de charges .

c- Distribution volumique de charges :
Les charges sont réparties de manière continue dans un volume macroscopique V .



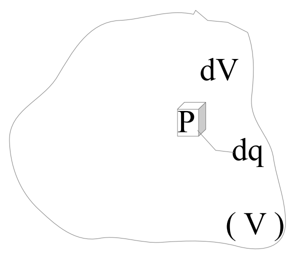
Sphère uniformément chargée en volume .

On appelle **densité volumique de charges en un point P** du volume $\rho(P)$ la grandeur telle que la charge dq contenue dans le volume dV soit donnée par : $\boxed{dq=\rho(P)dV}$

$\boxed{\rho(P)}$ **s'exprime en Cm $^{-3}$**

La **charge totale contenue dans le volume V** est égale à la somme des charges :

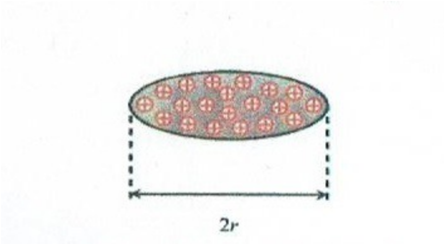
$$\boxed{Q=\iiint_V dq=\iiint_V \rho(P)dV}$$



Rem 1 :
Seules les distributions volumiques correspondent à la réalité physique , les autres distributions vues ci-dessous correspondent à une modélisation .
Rem 2 :
Si ρ est uniforme dans tout le volume V , alors $\boxed{Q=\iiint_V \rho(P)dV=\rho\iiint_V dV=\rho V}$

d- Distribution surfacique de charges :
Lorsqu'une des trois dimensions est très faible devant les deux autres , on l'assimile à une surface chargée caractérisées par une **densité surfacique de charge au point P** $\sigma(P)$ telle que la charge dq portée par la surface dS soit donnée par : $\boxed{dq=\sigma(P)dS}$

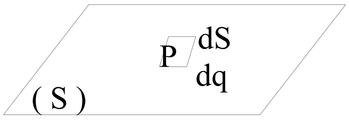
$\boxed{\sigma(P)}$ **s'exprime en Cm $^{-2}$**



Disque uniformément chargé en surface.

La charge totale portée par la surface S est égale à la somme des charges :

$$\boxed{Q=\int\int_S dq=\int\int_S \sigma(P)\,dS}$$

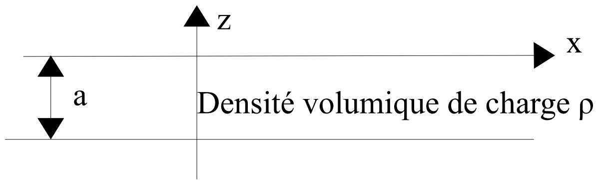


<u>Rem 1 :</u>

Si <u>σ est uniforme</u> dans tout le volume V , alors $\boxed{Q=\int\int_S \sigma(P)\,dS=\sigma\int\int_S dS=\sigma S}$

<u>Rem 2 :</u>

Modélisation d'une répartition volumique par une répartition surfacique .



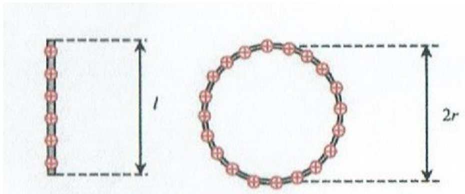
Si l'épaisseur a est faible , on peut modéliser la distribution par une distribution surfacique de charges telle que une surface dS découpée sur les deux ditributions portent la même charge .

$dQ = \rho a dS = \sigma dS$ d'où $\sigma = \rho a$.

<u>e- Distribution linéique de charges :</u>

Lorsque les charges sont réparties dans des tubes de faibles dimensions transversales , on assimile la distribution à une ligne chargée caractérisée par **une densité linéique de charge** au point P $\lambda(P)$ telle que la charge dq contenue sur une longueur dl soit donnée par : $\boxed{dq=\lambda(P)\,dl}$

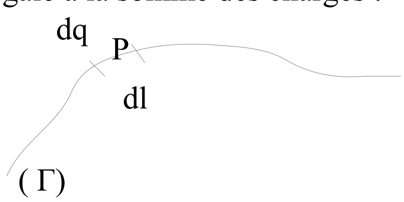
$\boxed{\lambda(P)}$ **s'exprime en Cm^{-1}**



Une tige et un anneau uniformément chargés.

La charge totale portée par la courbe Γ est égale à la somme des charges :

$$\boxed{Q=\int_\Gamma dq=\int_\Gamma \lambda(P)\,dl}$$



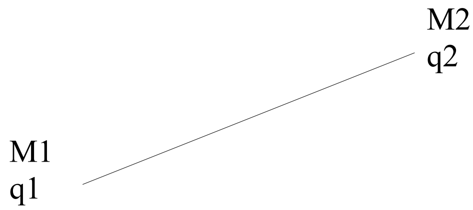
<u>Rem :</u>

Si <u>λ est uniforme</u> dans toute la ligne Γ , alors $\boxed{Q=\int_\Gamma \lambda(P)\,dl=\lambda\int_\Gamma dl=\lambda\, l}$

II Loi de Coulomb . Champ électrostatique :

II-1Loi de Coulomb :

→ Lorsque deux charges ponctuelles sont placées dans le vide , elles sont en interaction électrostatique réciproque selon la loi de Coulomb .



Rem : à l'échelle atomique les forces d'interaction gravitationnelle peuvent être négligées devant les forces d'interaction électrostatique .(ex pour un électron m = 9,1 .10^{-31} kg   e = 1,6.10 $^{-19}$ C)

$\frac{F_e}{F_G}=4{,}2.10^{42}$ interactions entre deux électrons .

→ Force créée par un ensemble de N charges ponctuelles :

La force créée en un point M sur une charge q par un ensemble de charges qi placées en Mi

$\boxed{\vec{F}=\frac{q}{4\pi\epsilon_0}\sum_i\frac{q_i\vec{M_iM}}{M_iM^3}}$ principe de superposition

II-2 Champ électrostatique   :

a- Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle :

Pour caractériser l'effet du champ électrique au point M_2 , même en l'absence de charge on introduit le champ électrostatique créé en M_2 par la particule q_1 .

De manière générale un particule de charge q placée au point P créée au point M un champ électrostatique :

Les lignes de champ (tangentes en chacun de leur point au vecetur champ en ce point et orientées dans le sens du champ) sont des droites qui divergent depuis les charges positives et convergent vers les charges négatives, les lignes de champ sont ouvertes .

\+ q>0   \+ q < 0

b- Principe de superposition :
Le champ électrostatique vérifie le principe de superposition , champ créé en M par un ensemble de charges ponctuelles = somme des champs créés par chacune des charges .

Les lignes de champ du champ électrostatique sont ouvertes et orientées dans le sens du champ ; elles convergent vers les charges négatives et divergent à partir des charges positives .
Deux lignes de champ ne peuvent se croiser qu'en un point où le champ est nul ou en un point où il existe une charge ponctuelle .

c- Ordres de grandeurs :
Intensité du champ électrostatique créé par un électron : à $10^{-10}\,m$: $1{,}4.10^{11}\,V.m^{-1}$
à 1 mm : $10^{-3}\,V.m^{-1}$
Grille pain : $40\,V.m^{-1}$
Ligne 400000V $200\,V.m^{-1}$ à 100 m
Valeurs limites : WIFI (2400 MHz) $61\,V.m^{-1}$ antenne GSM (900 à 1800 MHz) $50V.m^{-1}$
Champ électrique sol base des nuage en cas d'orage peut atteindre $20000\,V.m^{-1}$.

II-3 Symétries du champ électrostatique :
a- Invariances :
On admet que le champ électrostatique vérifie le principe de Curie : un champ électrostatique possède les propriétés d'invariance et de symétrie de la distribution de charges qui le crée .

Si une distribution est invariante par translation selon un axe alors le champ qu'elle crée également .
Une distribution de charges est invariante par translation si on retrouve la même distribution après avoir effectué la translation et si un point de l'espace voit les mêmes charges à la même distance .

Cela suppose une distribution infinie : (fil infini, nappe infinie …). Si la distribution est invariante par translation suivant $\vec{u}_z$ alors ρ(P) ne dépend pas de z et le champ électrostatique qu'elle crée également .

Ex : un plan infini selon x et y uniformément chargé en surface est une distribution invariante par toute translation selon x et y , créé un champ électrostatique qui ne dépend que de la variable z .

Remarque : En pratique toutes les distributions son finies mais lorsque la distance d’un point considéré à la distribution est faible devant la dimension de la distribution, on considèrera que les dimensions de la distribution tendent vers l’infini. Cela permet de simplifier l’analyse des problèmes.

Si une distribution de invariance par rotation d'angle θ autour d'un axe fixe Δ alors ρ(P) ne dépend pas de θ et le champ électrostatique créé également .

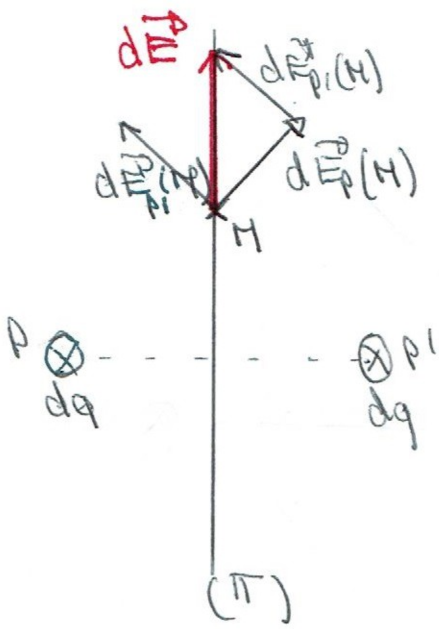
Ex :cylindre d'axe Δ uniformément chargé en volume est invariant par rotation autour de Δ .

Les invariances des distributions de charges impliquent un choix adapté des coordonnées à employer.

b- Symétries :

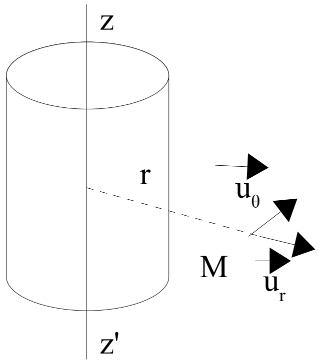
→ **Un plan (π) est un plan de symétrie d'une distribution de charges si, quels que soient les points P et P' symétriques par rapport à ce plan π : ρ(P) = ρ(P').**
Si M et M' sont deux points symétriques par rapport à un plan (π) de symétrie alors $\vec{E}(M)$ **et** $\vec{E}(M')$ **sont symétriques par rapport à (π) .**

Considérons deux éléments de charge symétriques par rapport à un plan de symétrie (π) , représentons les champs créés en un point M de (π) par ces deux champs puis la somme de ces deux champs .



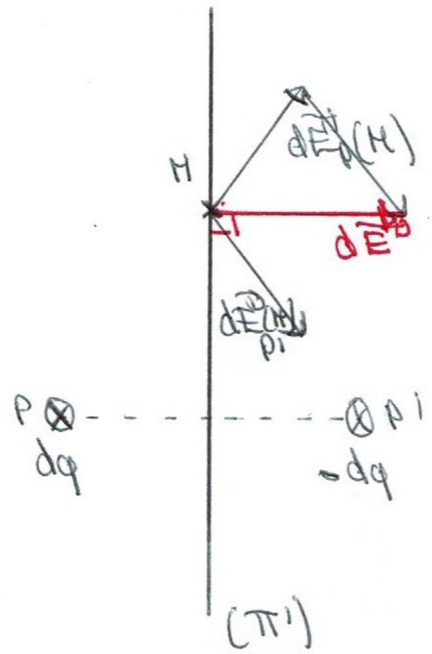
On remarque que le champ résultant appartient au plan (π) . Ce résultat se généralise pour le champ créé par l'ensemble de la distribution en un point M d'un plan de symétrie de la distribution de charges .
Si M est un point contenu dans un plan de symétrie des charges alors $\vec{E}(M)$ **appartient à ce plan .**
Si M et M' sont deux points symétriques par rapport à un plan (π) de symétrie alors $\vec{E}(M)$ **et** $\vec{E}(M')$ **sont symétriques par rapport à (π) .**

Ex : Cylindre infini uniformément chargé en volume :



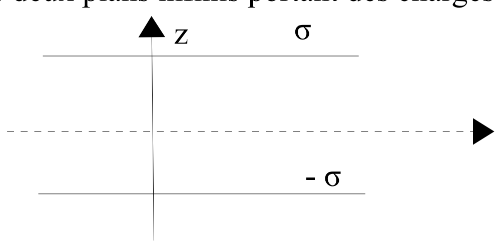
→ **Un plan (π ') est un plan de d'antisymétrie d'une distribution de charges si, quels que soient les points P et P' symétriques par rapport à ce plan π : ρ(P) = - ρ(P').**
Si M et M' sont deux points symétriques par rapport à un plan (π ') de d'antisymétrie alors $\vec{E}(M')$ est l'opposé du symétrique de $\vec{E}(M)$ par rapport à (π ') .

Considérons deux points P et P ' symétriques par rapport à un plan de d'antisymétrie (π ') , représentons les champs créés en un point M de (π ') par les deux éléments de charge situés en P et P ' puis la somme de ces deux champs .



On remarque que le champ résultant est orthogonal au plan (π ') . Ce résultat se généralise pour le champ créé par l'ensemble de la distribution en un point M d'un plan de d'antisymétrie de la distribution de charges .
Si M est un point contenu dans un plan de d'antisymétrie des charges alors $\vec{E}(M)$ est orthogonal à ce plan au point M .

Ex : deux plans infinis portant des charges surfaciques uniformes opposées



Le plan médiateur est plan d'antisymétrie , en un point M appartenant au plan médiateur le champ électrostatique est dirigé selon l'axe Oz .

III Circulation du champ électrostatique , notion de potentiel électrostatique :

III-1- Circulation du champ électrostatique :

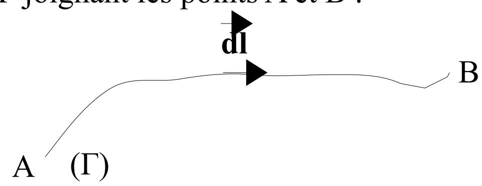
a- Circulation du champ électrostatique :

Pour un déplacement $\vec{dl}$, on définit la circulation élémentaire du champ électrostatique par :

$$\boxed{dC = E(\vec{M}).\vec{dl}}$$

Sur un trajet fini le long d'une courbe Γ joignant les points A et B :

$$\boxed{C = \int_{A(\Gamma)}^{B} E(\vec{M}).\vec{dl}}$$



b- Circulation conservative :

Soit une charge qo placée en O . Coordonnées polaires .

On considère la circulation de $\vec{E}$ le long d'une courbe située dans le plan (O ; **ur** , **uθ)**

$$\vec{dl} = dr\,\vec{u}_r + r\,d\,\theta\,\vec{u}_\theta$$

Ne dépend que de A et B et pas du chemin suivi = circulation est conservative .

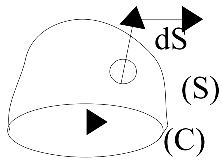
Si A = B courbe fermée , la circulation est nulle .

Résultat généralisable : le champ électrostatique est à circulation conservative .

Cette propriété implique que les lignes de champ d'un champ électrostatique sont ouvertes . Elles divergent depuis les charges positives et convergent vers les charges négatives .

Equation locale :

D'après le th de Stokes Ampère :



Ceci est vrai quelque soit la surface S, on en déduit donc , que localement, le champ électrostatique vérifie

III-2- Potentiel électrostatique :

a- Définition :

La circulation de $\vec{E}$ étant conservative , on est amené à définir une fonction scalaire V(M) appelée potentiel électrostatique exprimée en V telle que :

$$dC = -\,dV \quad \text{et} \quad C = \int_A^B \vec{E}(M).\vec{dl} = V_A - V_B$$

Pour la charge ponctuelle placée en O , le potentiel en M $V(M) = \dfrac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r} + K$ K = cste , on choisit usuellement un potentiel nul à l'infini donc K =0

Pour une charge ponctuelle q placée en P , le potentiel électrostatique créé en M vaut :

$$\boxed{V(M)=\frac{q}{4\pi\epsilon o PM}}$$

Rem : le potentiel électrostatique vérifie le téorème de superposition , le potentiel électrostatique créé par N charges placées en Pi vaut : $\boxed{V(M)=\sum_{i=1}^{n}(\frac{q_i}{4\pi\epsilon o P_i M})}$

b- Lien champ électrostatique – Potentiel électrostatique :
Par définition du gradient

On dit que le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ dérive du potentiel V(M) .

La différence de potentiel entre 2 points A et B :

c- Topographie et symétrie :
→ Le potentiel électrostatique est continu .
→ Symétries : symétries du potentiel associées aux symétries du champ électrostatique .
Vérifie le principe de Curie .
Si M' est le symétrique de M par rapport à un plan (π)de symétrie de la distribution de charges alors V(M) = V(M') .
Si M' est le symétrique de M par rapport à un plan (π*) de d'antisymétrie de la distribution de charges alors V(M) = - V(M') le potentiel étant continu alors **un plan d'antisymétrie est une équipotentielle nulle si M appartient à (π*), V(M) =0 .**

*Carte de champ et potentiel :
$\vec{E}(M)=-\vec{grad}\,V(M)$ donc $\vec{E}$ est normal aux surfaces équipotentielles et donc les lignes de champ sont orthogonales aux surfaces équipotentielles .
Le champ électrique est dirigé suivant les potentiels décroissants .

Plus les équipotentielles (correspondant à des écarts de potentiel toujours identiques d'une surface à la suivante) sont resserrées plus le champ est intense (variation importante de V sur une courte distance = forte dérivée donc champ fort).

e- Continuité :
→ Distribution volumique de charges : continuité du champ et du potentiel .
→ Distribution surfacique de charges : discontinuité du champ à la traversée de la surface chargée et continuité du potentiel .
→ Distribution linéique de charges : champ et potentiel non définis en un point de la distribution . (de même en un point où se trouve une charge ponctuelle) .

IV Energie potentielle d'une charge plongée dans un champ électrostatique extérieur :

Soit une distribution de charges créant en M un champ électrostatique $\vec{E}(M)$ dérivant du potentiel V(M) .
Soit une particule de charge q placée en M , celle-ci subit de la part du champ électrostatique une force $\vec{F}=q\vec{E}(M)=-q\,\vec{grad}\,V(M)$.

Si on déplace légèrement cette charge de $\vec{dl}$, le travail de la force électrostatique est :

$\delta W = \vec{F} . \vec{dl} = q \vec{E}(M) . \vec{dl} = -q \, \vec{grad} \, V . \vec{dl} = -q \, dV$

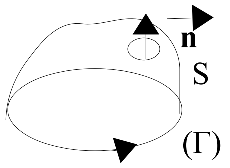
Sur un trajet AB fini on a : $W_{AB} = q(V_A - V_B)$ ce travail est indépendant du chemin suivi , la force électrostatique est donc conservative et on peut donc définir l'énergie potentielle de la particule q dans le champ extérieur $\vec{E}(M)$, $\delta W = -dE_P$, d'où $\boxed{E_p = q V(M)}$.

V Flux du champ électrostatique – Th. De Gauss :

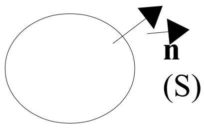
V-1 Flux du champ électrostatique :

a- Elément de surface :

Soit une surface ouverte S s'appuyant sur un contour fermé Γ , le sens de la normale en un point M est lié au sens de circulation sur le contour



Si on considère une surface S fermée : le sens de la normale positive est celui de la normale sortante .



On définit un élément de surface par $\vec{dS} = dS \, \vec{n}$.

a- Définition du flux :

Le flux élémentaire de $\vec{E}(M)$ à travers l'élément de surface $\vec{dS}$ est

$d\Phi = \vec{E}(M) . \vec{dS} = \vec{E}(M) . \vec{n} \, dS$.

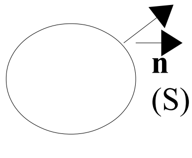
Le flux de $\vec{E}$ à travers une surface S ouverte est $\boxed{\Phi = \int\int_{(S)} \vec{E}(M,t) . \vec{dS}}$

Le flux de $\vec{E}$ à travers une surface S fermée est $\boxed{\Phi = \oiint_{(S)} \vec{E} . \vec{dS}}$

V-2- Th de Gauss :

Le flux du champ électrostatique sortant de toute surface fermée S est égal au rapport de la charge totale contenue dans S par epsilon 0 .

$$\boxed{\oiint_S \vec{E} \, \vec{dS} = \frac{Qint}{\epsilon o}}$$

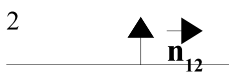


Conséquences :

→ Dans une zone vide de charge , le champ électrique est à flux conservatif (le flux du champ électrique est le même à travers toute section d'un tube de champ) . Sur un graphe représentant les lignes de champ , un resserrement des lignes de champ correspond à une augmentation du module du champ .

→ Lors de la traversée d'une nappe de charge surfacique σ

$$\boxed{(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) . \vec{n}_{12} = \frac{\sigma}{\epsilon o}}$$



→ En un point Mmax où le potentiel présente un maximum relatif , se trouve une charge positive . En un point Mmin où le potentiel présente un minimum relatif , se trouve une charge négative .
Si le potentiel est maximal en un point, les lignes de champ divergent de ce point .
Si le potentiel est minimal en un point, les lignes de champ convergent vers ce point .

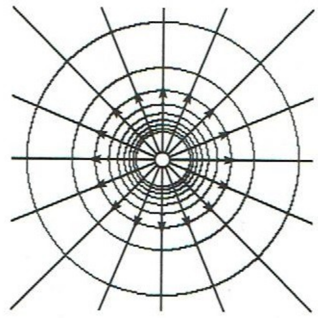
→ Le potentiel électrostatique ne peut pas présenter d'extremum en l'absence de charge.

<u>Equation locale vérifiée par le champ électrostatique :</u>

<u>Equation locale vérifiée par le potentiel électrostatique : équation de Poisson, équation de Laplace .</u>

V-3- Lignes de champ et équipotentielles :

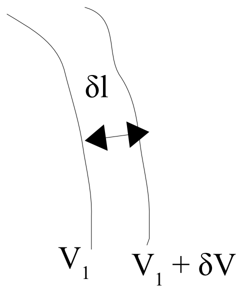
→ Lignes de champ et équipotentielles pour une charge ponctuelle q > 0 :



Les lignes de champ sont des demi-droites issues du point où se trouve la charge , les équipotentielles sont des sphères centrées sur la charge . Elles se resserrent au niveau de la charge, dans la zone où le champ est le plus intense .

→ Evaluation du champ à partir d'un réseau d'équipotentielles :

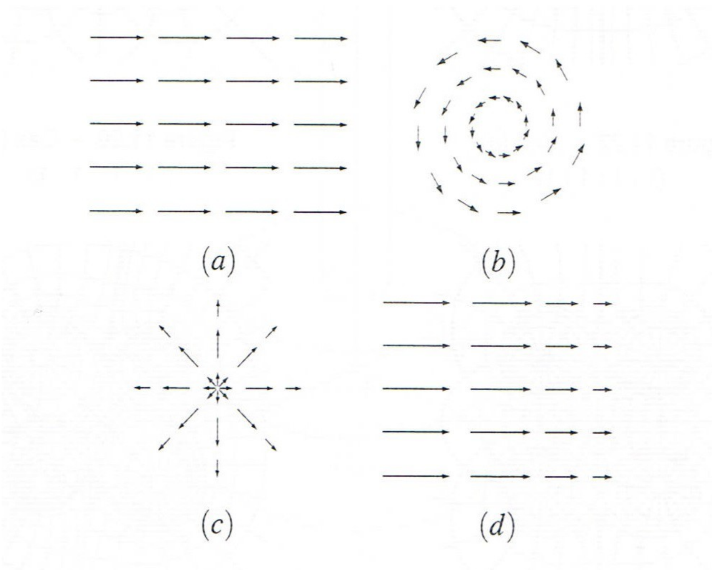
Si deux équipotentielles consécutives de potentiels respectifs V_1 et $V_2=V_1+\delta V$ où $|\delta V|\ll V_1$ sont distantes de δl on peut assimiler la petite variation du potentiel à sa différentielle et écrire $E\,\delta l=-\delta V$.



→ Etude de cartographies de lignes de champ :

Les figures ci-dessous représentant dans le plan z = cste , quelques cartes de champs de la forme $\vec{a}=a_x(x,y)\vec{u}_x+a_y(x,y)\vec{u}_y$.

.Préciser dans chaque cas s'il peut s'agir d'un champ électrostatique et quand c'est possible , dire si des charges sont présentes dans la région représentée .



V 4- Application aux calculs de champs :
Le théorème de Gauss est un outil puissant pour calculer rapidement le champ électrostatique créé par des distributions de haut degré de symétrie . De même pour des distributions de ce type, l'équation locale vérifiée par $\vec{E}$ permet d'obtenir une expression analytique du champ électrostatique .

a- Principe du calcul :
1ère étape : choix du repérage et du système de coordonnées le mieux adapté .
2ème étape : analyse des symétries et des invariances et leurs conséquences sur $\vec{E}(M)$
3ème étape :
→ Si on applique le th de Gauss, on doit choisir une surface fermée dite de gauss : elle doit passer par le point M où on cherche à calculer le champ et adaptée à la géométrie du champ .
On va chercher une surface (Sg) telle que le champ électrique soit normal à cette surface en tout point et de module constant (tq $\vec{E}\ et\ \vec{dS}$ colinéaires en tout point , norme identique en tout point de la surface ..) : surface équipotentielle passant par M .
Si la surface équipotentielle passant par M est fermée , alors c'est cette surface que l'on choisit comme surface de Gauss .
Si elle n'est pas fermée , on construit la surface fermée de Gauss à partit d'un élément de la surface équipotentielle que l'on ferme par des éléments de surface tels que le champ soit tangent à ces éléments et que le flux à travers ceux-ci soit nul .(ex tq $\vec{E}\ et\ \vec{dS}$ colinéaires en tout point , norme identique en tout point de la surface ..) .
→ ou on utilise l'équation locale vérifiée par $\vec{E}$.

b- Champ et potentiel créé par une sphère uniformément chargée en volume :

c- Champ et potentiel créé par un cylindre uniformément chargé en volume :

d- Champ et potentiel créé par un plan uniformément chargé en surface :

e- Condensateur plan notion de capacité :

VIAnalogies avec la gravitation :

VI-1 Loi de Coulomb et loi de Newton :

Loi de Coulomb et loi de Newton analogues :

loi de Coulomb $\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}=\dfrac{q_1 q_2 \overrightarrow{M_1 M_2}}{4\pi\epsilon o M_1 M_2^3}$

loi de newton $\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}=-G\dfrac{m_1 m_2 \overrightarrow{M_1 M_2}}{M_1 M_2^3}$

Analogie entre les lois de l'électrostatique et celles relatives à l'intéraction gravitationnelle :

q ↔ m 1 / 4πεo ↔ - G

VI-2 Analogie :

	Electrostatique	Gravitation
Source des champs	charges	masse
Préfacteur	$\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}$	- G
Relation champ-force	$\vec{F}=q\vec{E}$	$\vec{F}=m\vec{g}$
Source ponctuelle	Champ créé en M par une charge qo placée en P $\vec{E}=\dfrac{q}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{\vec{PM}}{PM^3}$	Champ créé en M par une masse mo placée en P $\vec{g}=\dfrac{-Gm\vec{PM}}{PM^3}$
Circulation conservative	$\oint \vec{E}.\vec{dl}=0$	$\oint \vec{g}.\vec{dl}=0$
Th de Gauss	$\oiint_S \vec{E}\,\vec{dS}=\dfrac{Qint}{\epsilon o}$	$\oiint_S \vec{g}\,\vec{dS}=-4\pi G M_{\int¿}$

<u>Exemple :</u> champ gravitationnel créé par une répartition sphérique de masse .