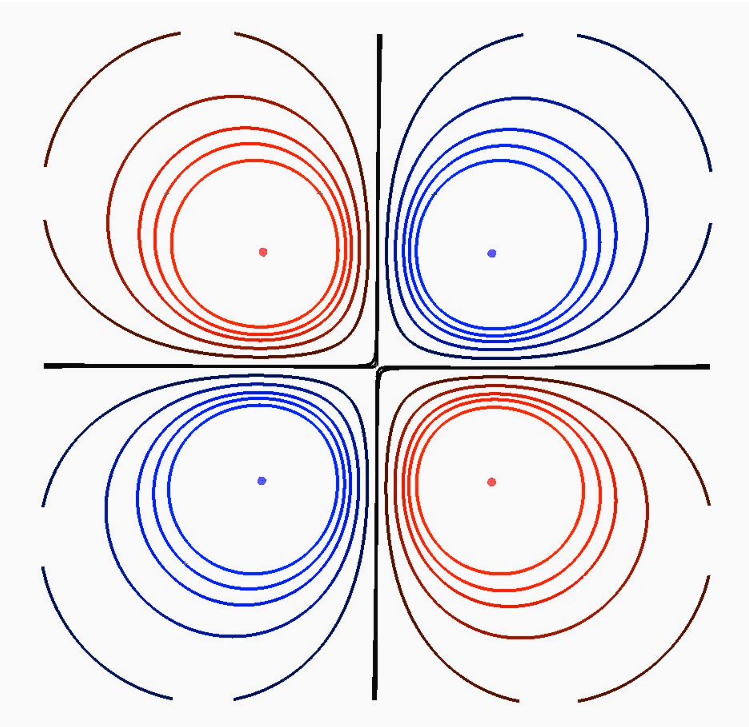
❏ 1 – Système de quatre charges ponctuelles

➩ **Capacité exigible** – Représenter les surfaces équipotentielles connaissant les lignes de champ et inversement. Associer les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.

Quatre charges ponctuelles $\pm q$ sont placées aux sommets d'un carré de côté a. Les traces des surfaces équipotentielles dans le plan contenant les charges sont représentées ci-dessous. Les valeurs des potentiels correspondant sont $2n \times 10^{-9}$ V avec $n \in \mathbf{Z}$, $-5 \leq n \leq 5$.

NB : les ruptures de quatre surfaces équipotentielles sont uniquement dues à la fenêtre d'affichage du logiciel de simulation.



1. Où sont les charges $+q$? $-q$?
2. Représenter quelques lignes de champ électrostatique et les orienter.
3. Quels renseignements déduisez-vous des espacements plus ou moins importants des surfaces équipotentielles ?
4. Le carré est de côté $a = 20$ cm. En déduire la valeur de q.

❏ 2 – Équipotentielles

On s'intéresse aux surfaces équipotentielles correspondant à une distribution de charges donnée.

1. En tout point d'une même équipotentielle, le module du champ électrostatique est-il le même ?
2. En un point d'une équipotentielle, quelle est l'orientation du champ électrostatique ?
3. Une équipotentielle peut-elle se recouper ?
4. Deux surfaces équipotentielles peuvent-elles se couper ?

❏ 3 – Détermination du champ électrique créé par quelques distributions.

➩ **Capacité exigible** – Reconnaître les situations pour lesquelles le champ électrostatique peut être calculé à l'aide du théorème de Gauss

1. Parmi les distributions de charge suivantes, lesquelles permettent de déterminer le champ électrostatique par le théorème de Gauss ?
   (a) Sphère de rayon R chargée uniformément en surface (charge surfacique σ_0).
   (b) Cercle de rayon a uniformément chargé (charge linéique λ).
   (c) Cylindre infiniment long de rayon a, uniformément chargé en surface.
2. Dans les cas où le théorème de Gauss est profitable, déterminer le champ électrostatique et synthétiser le résultat par une (ou des) représentations graphiques.
3. En déduire le potentiel électrostatique et tracer également des graphes de synthèse.
4. Dans le (ou les) cas restants, où peut-on déterminer le champ électrostatique ? Effectuer ce travail.

❏ 4 – Mur de charges

➩ **Capacité exigible** – Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.

On considère la distribution volumique charge suivante où $\rho(M)$ représente la densité volumique de charge :

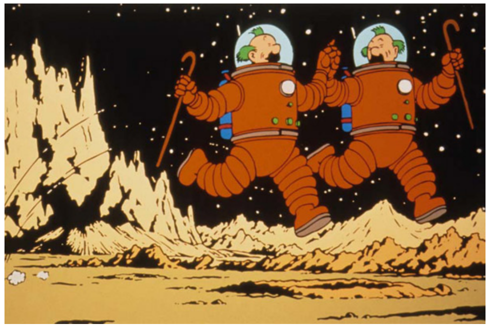
$$\begin{cases} \rho = \rho_0 & \text{si} \quad -\dfrac{a}{2} < x < \dfrac{a}{2} \\ \rho = 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Une particule ponctuelle de charge q arrive en $x = -\dfrac{a}{2}$ avec une vitesse $\vec{v} = v_0 \vec{e}_x$. Peut-elle sortir de l'autre côté de la zone chargée ? Si oui, est- ce sans condition ou sous condition ?

❏ 5 – Champ gravitationnel terrestre

On suppose la Terre parfaitement sphérique (rayon $R_T = 6,38 \times 10^3$ km, masse $M_T = 5,98 \times 10^{24}$ kg) et de masse volumique uniforme.

1. Déterminer le champ gravitationnel terrestre en tout point de l'espace (c'est-à-dire à l'extérieur de la Terre *et* à l'intérieur) et le calculer en un point de la surface terrestre.
2. Que pensez-vous du modèle adopté ? Proposez-en un moins grossier. Le champ gravitationnel terrestre est-il modifié ?



Le champ gravitationnel lunaire à la surface de la Lune est environ six fois plus faible que le champ gravitationnel terrestre à la surface de la Terre.

3. Sachant que le diamètre angulaire apparent de la Lune vue de la Terre est d'environ $0,5\,^\circ$, déterminer le rapport entre la masse de la Terre et celle de Lune.

— Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$
— Distance Terre-Lune : 384×10^3 km

❏ 6 – Champ électrostatique dans un cavité sphérique

On considère une boule de centre O_1 et de charge volumique uniforme. On s'intéresse au champ électrostatique à l'intérieur d'une cavité sphérique vide de rayon a et de centre O_2 situé à une distance $b > a$ de O_1.

1. L'étude des symétrie du problème permet-elle de donner la direction du champ électrostatique en n'importe quel point de l'espace intérieur à la cavité ?
2. Montrer que le champ électrostatique est uniforme dans la cavité et déterminer sa direction, son sens et sa norme.

❏ 7 – Encombrement d'un condensateur en électronique

Les condensateurs utilisés en électronique doivent avoir une capacité importante pour un encombrement réduit. En enroulant deux feuilles conductrices séparées par des feuilles isolantes (on parle de *diélectrique)*, on diminue la distance entre les armatures favorisant ainsi une plus grande capacité (figure 1).

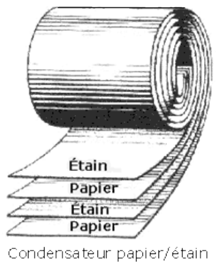


FIGURE 1 – Condensateur papier-étain

La capacité du condensateur est ainsi

$$C \approx \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{e}$$

où e est la distance entre les armatures, S la surface des armatures et ε_r la constante diélectrique caractéristique de l'isolant.

Quel est l'ordre de grandeur de la surface des armatures d'un condensateur de capacité 10^{-6} F et supportant une tension de 10 volts lorsque le diélectrique est

1. du papier ?
2. du carton ?
3. du mica ?

Données

— Permittivité diélectrique relative du papier : 2 ; du carton : 4 ; du mica : 6

— Rigidité diélectrique (en kV/mm) : air sec : 3 ; papier : 6 ; carton : 10 ; mica : 70

❏ 8 – Force de VAN DER WAALS

FIGURE 2 – Gecko
`http://sciencetonnante.wordpress.com/`

Les forces de VAN DER WAALS[1] sont des forces électromagnétiques résiduelles faibles, d'origine quantique, s'exerçant entre des molécules et même des atomes neutres. On retrouve les effets de cette force à l'extrémité des pattes du gecko, assurant ainsi leur forte adhésion sur du verre. Une équipe d'ingénieurs chercheurs de l'université Berkeley (Californie) a travaillé sur les incroyables facultés du gecko (Figure 2) à pouvoir rester accroché à une paroi lisse et verticale par un seul orteil.

1. Johannes Diderik VAN DER WAALS (1837 -1923), physicien néerlandais, prix Nobel de physique 1910 pour l'équation de l'état d'agrégation des gaz et des liquides.

Les pattes du gecko (figure 3) sont recouvertes de tous petits poils nommés setae ; chaque seta se décompose ensuite en milliards de petits sous-poils de nom spatulae. Ce fantastique réseau de poils permet l'action de forces intermoléculaires avec la surface : les forces de VAN DER WAALS.

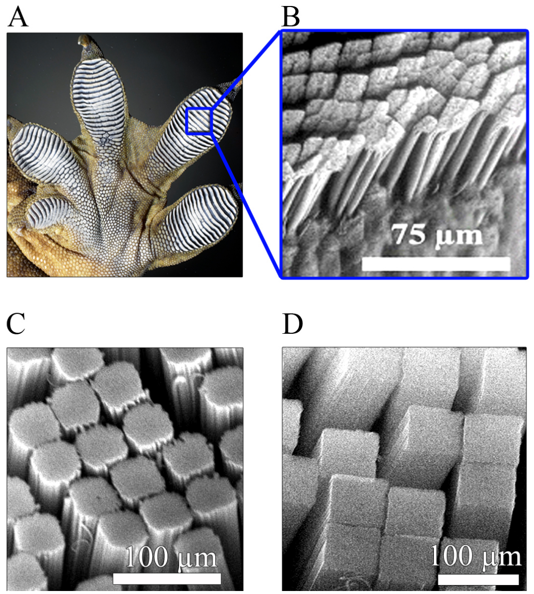


FIGURE 3 – Patte de gecko
`http://academic.udayton.edu/NIRT/gecko.htm`

Il est possible de décrire sommairement cette interaction en considérant les forces électriques qui sont présentes entre les molécules ou atomes. Étudions le cas de l'interaction entre une molécule polaire – située en A – de moment dipolaire permanent $\vec{p}_0 = p_0\vec{u}$ et une molécule non polaire mais de polarisabilité α – située en B (figure 4).

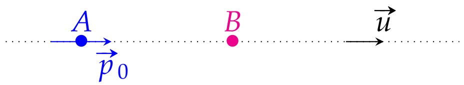


FIGURE 4 – Interaction dipôle-dipôle

1. Un atome ou une molécule ne possédant pas de moment dipolaire permanent peut en acquérir un sous l'action d'un champ électrique extérieur. On dit que la molécule est *polarisable*. Une molécule polaire voit également son moment dipolaire augmenter dans les mêmes conditions. Le moment dipolaire induit est proportionnel au champ électrique appliqué pour des champs pas trop intenses :

$$\vec{p}_{\text{ind}} = \alpha\varepsilon_0\vec{E}$$

   Le coefficient α est appelé *polarisabilité*.

   Donner la dimension physique de α. Évaluer l'ordre de grandeur numérique de α.

2. Quel est le champ électrostatique $\vec{E}_A(B)$ créé au point B par la molécule A ?
3. En déduire le moment dipolaire induit en B.
4. Montrer alors que la molécule B subit une force de la part de la molécule A

$$\vec{F}_{A\to B} = -\frac{3\alpha p_0^2}{4\pi^2\varepsilon_0 r^7}\vec{u}$$

   et commenter ce résultat.