

DM Phy204 - Désinfection électrostatique

A rendre lors du TD de la semaine du 12 avril 2021 (TD N ° 8)

Avertissement : donnez toujours les expressions littérales avant de faire les applications numériques. Les unités des applications numériques devront être précisées.

Données générales :

Constante diélectrique du vide : $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ (SI)

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

La pulvérisation électrostatique a des applications dans divers domaines comme la peinture ou l'agriculture. Le principe est simple : utiliser un brumisateuse permettant de charger électriquement les fines gouttelettes émises pour couvrir la surface d'un objet de charge opposée (voir figure 1). Le liquide émis peut donc recouvrir toute la surface à traiter même les parties cachées à l'application directe du spray. Dans le contexte de la crise sanitaire de la COVID-19, la pulvérisation électrostatique a connu aux USA un regain d'intérêt car elle permettrait de désinfecter efficacement les surfaces difficilement accessible tout en économisant jusqu'à 75% de produit désinfectant. C'est ce que l'on a appelé outre-atlantique la "désinfection électrostatique". On voit qu'il s'agit d'un abus de langage car c'est seulement le dépôt de désinfectant qui utilise des principes électrostatiques et non la désinfection elle-même. Au delà de ce slogan commercial abusif, vérifions si l'argumentaire de couverture des surfaces résiste à notre examen scientifique.



FIGURE 1 – a) Un agent hospitalier applique un désinfectant à l'aide d'un pulvérisateur électrostatique. (b) Principe de fonctionnement du dépôt de particules chargées sur une surface (source *Multiclean-system*).

Partie 0 - Charge moyenne d'une goutte.

Lors du fonctionnement, un appareil pulvérise des gouttelettes sphériques de liquide aqueux de diamètre moyen $100 \mu\text{m}$ et de densité de charge moyenne $\rho = 30 \text{ mC.kg}^{-1}$.

1. Exprimer la masse d'une gouttelette en fonction de son diamètre d et de la masse volumique M_V du liquide.
2. En supposant que la masse volumique de solution hydroalcoolique est la même que celle de l'eau, calculer la masse d'une gouttelette de liquide pulvérisé.
3. Exprimer la charge Q d'une gouttelette en fonction de la densité de charge par unité de masse ρ et de la masse de cette gouttelette. En déduire la charge portée en moyenne par une gouttelette en utilisant $\rho = 30 \text{ mC.kg}^{-1}$.
4. La gouttelette étant neutre initialement, a-t-elle perdu ou gagné des électrons? Combien d'électrons la charge calculée précédemment représente-t-elle?

Partie 1 - Interactions électriques à l'intérieur de la brume.

Les particules à l'intérieur de la brume sont désordonnées comme dans la figure 2. Essayons de nous faire une idée du comportement de cette brume sous l'effet des interactions électriques. Pour simplifier la discussion nous allons nous intéresser à une gouttelette située dans la région centrale et à une gouttelette située à la périphérie de la brume pour comparer les forces qu'elles subissent. Celles-ci sont nommées A et B respectivement dans la figure 2a.

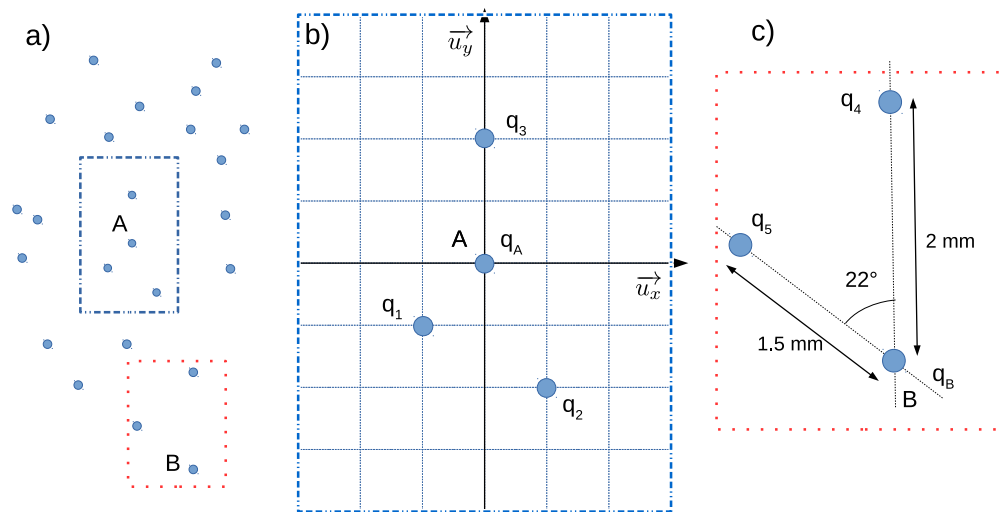


FIGURE 2 – a) Une brume de gouttelettes a été pulvérisée. (b) Zoom sur la partie centrale de la brume. (c) Zoom sur la gouttelette B.

A - Forces

0.0.1 1. Forces sur la charge en A

Estimons tout d'abord les forces exercées par les gouttelettes situées dans le rectangle pointillé bleu sur la gouttelette placée en A. Pour simplifier à partir de maintenant, les gouttelettes seront désignées par leur charge. La gouttelette placée en A et de charge q_A sera nommée charge q_A .

1. Calculer l'intensité de la force \vec{F}_1 exercée par la gouttelette q_1 sur la gouttelette q_A . La charge $q_A = 20$ pC et la charge $q_1 = 15$ pC. Dans la figure 2b, les carreaux de la grille font 1mm de côté. La réponse doit être justifiée car les charges q_A et q_1 ne sont pas ponctuelles. On prendra soin de donner l'expression littérale avant de faire l'application numérique.
2. Représenter à l'échelle cette force sur le schéma en Annexe 1 à rendre.
3. Donner l'expression de la force \vec{F}_2 exercée par la charge q_2 sur la charge q_A . Calculer son intensité sachant que la charge $q_2 = 59.3$ pC et la représenter sur le schéma de l'Annexe 1.
4. Tracer la force totale \vec{F}_{12} exercée par les charges q_1 et q_2 sur la charge q_A .
5. Déterminer l'intensité de cette force électrique en justifiant votre calcul.
6. Vérifier graphiquement ce calcul.
7. Déterminer l'intensité de la force \vec{F}_{123} exercée par les charges q_1, q_2 et q_3 sur la charge q_A . La représenter sur le schéma en annexe. La charge $q_3 = 50$ pC
8. En principe, le calcul de la force totale exercée sur la charge q_A doit prendre en compte TOUTES les charges environnantes de q_A . Les autres charges que q_1, q_2 et q_3 vont-elles beaucoup modifier la force \vec{F}_{123} si l'on suppose que q_A est au centre de la brume et que la répartition des charges autres que q_1, q_2 et q_3 est homogène? Justifiez votre réponse.

0.0.2 1. Forces sur la charge en B

On s'intéresse maintenant aux forces que subissent les charges en bord de brume, par exemple la charge q_B de la figure 2.

1. Calculer l'intensité de la force \vec{F}_{45} exercée par les charges q_4 et q_5 sur la charge q_B . La charge $q_4 = 30$ pC est située à 2 mm de la charge $q_B = 20$ pC. La charge $q_5 = 25$ pC est située à 1.5 mm de la charge q_B . Ne pas oublier de faire un schéma comme support à votre raisonnement.

Indice : On pourra utiliser la relation suivante pour \vec{u} et \vec{v} deux vecteurs formant un angle α , alors :

$$\|\vec{u} + \vec{v}\|^2 = \|\vec{u}\|^2 + \|\vec{v}\|^2 + 2\|\vec{u}\| \times \|\vec{v}\| \cos(\alpha)$$

B -Energie

Étudions maintenant les aspects énergétiques de la brume de gouttelettes. Pour simplifier on considère que la brume est constituée uniquement des quatre gouttelettes de la figure 2b

1. Donner l'expression de l'énergie potentielle électrique totale de ce système de quatre charges en fonction de la valeur de ces charges et de leurs distances. Faire l'application numérique.
2. Estimer à nouveau cette énergie si toutes les distances entre les particules sont multipliées par 10.
3. En extrapolant ce résultat sur l'énergie de l'ensemble de la brume, que pouvez-vous conclure sur l'évolution de la brume sous l'effet des interactions électriques? Aura-t-elle tendance à se disperser, s'effondrer sur elle-même ou rester inchangée? Est-ce avantageux pour le dépôt du produit désinfectant?
4. Aurait-il été aussi facile de tirer cette même conclusion de notre étude sur les forces de la partie précédente?

Partie 2 - Dépôt des gouttelettes sur une surface

A - Forces électriques au voisinage d'une rampe.

Après avoir étudié les interactions électriques au sein de la brume, examinons le dépôt sur une surface. Pour cela nous allons considérer la désinfection d'une rampe en métal dans un hôpital comme représentée dans la figure 3.

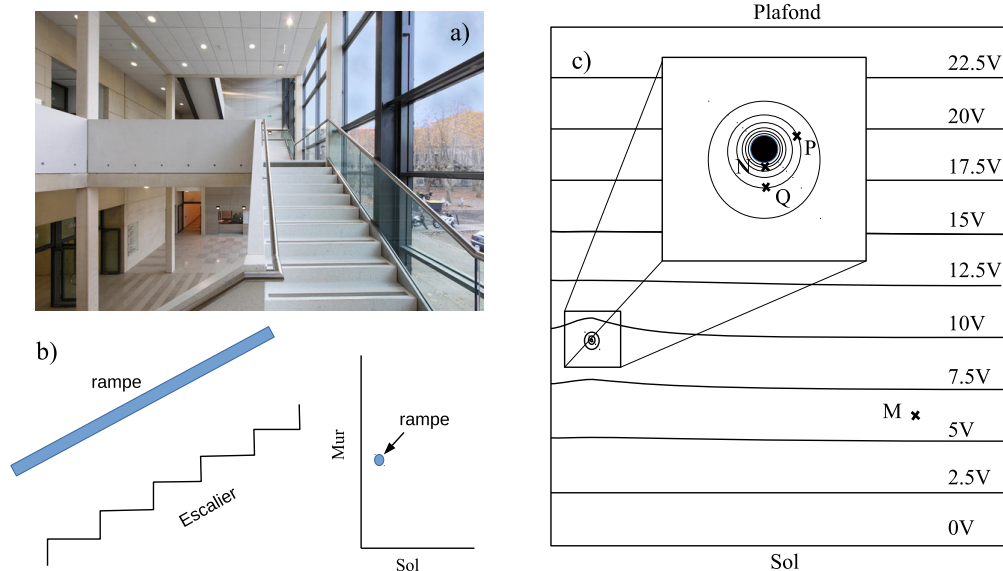


FIGURE 3 – a) Un escalier dans un hôpital. (b) Rampe vue de profil et de côté. (c) Potentiel au voisinage de la rampe.

1. D'après la référence [1] le champ électrique régnant typiquement dans une pièce est de 1 à 50 V.m^{-1} . Dessiner sur l'Annexe 2 (à rendre) les lignes de champ électrique passant par le point M . Utiliser la méthode graphique pour estimer l'intensité de ce champ électrique au point M . Comment cette valeur se compare-t-elle à celles de la référence [1] ?
2. Étant reliée au sol par les attaches, la rampe est placée au potentiel de 0 V . La présence de la rampe perturbe le champ électrique de la pièce comme indiqué dans le zoom de la figure 3c. Dessiner sur la figure de l'Annexe 2 les lignes de champ électrique passant par les points N , P et Q .
3. Sachant que dans l'encart de l'annexe 2, la différence de potentiel entre deux équipotentielles est de 1.25 V , déterminer l'intensité du champ électrique au points Q et N par la méthode graphique.
4. Déterminer l'intensité de la force électrique \vec{F}_{elec} qui serait subie par une gouttelette de charge 15 pC si elle était placée au point N ou au point Q .
5. Représenter ces forces sur le schéma de l'Annexe 2.

B - Poids d'une gouttelette.

Si l'on souhaite que les gouttelettes se déposent sur les surfaces cachées de la rampe et notamment le dessous, il faut que la force électrique subie par la gouttelette soit plus forte que son poids qui l'entraîne vers le sol. Évaluons maintenant cette force.

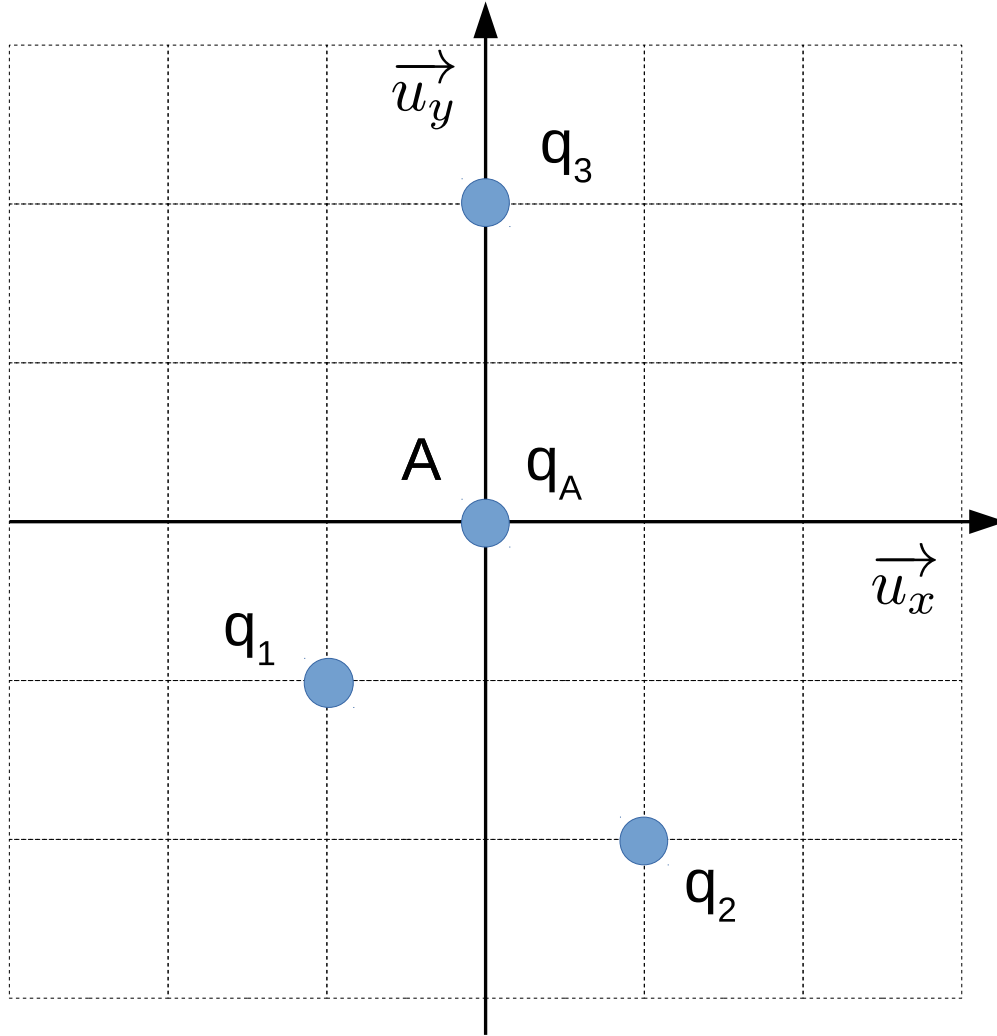
1. On rappelle que le poids d'une gouttelette est donné par $\vec{P} = m\vec{g}$ où m est la masse de la gouttelette et \vec{g} l'accélération de la pesanteur (environ $9,81 \text{ m.s}^{-2}$). Calculer le poids d'une gouttelette typique en utilisant la masse évaluée lors de la question 2 de la partie 0.
2. Si la charge de cette gouttelette est 15 pC , la force électrique peut elle donc permettre à cette gouttelette positionnée au point N ou au point Q de venir se coller sous la rampe ?
3. On cherche maintenant à déterminer de manière plus générale le critère pour qu'une gouttelette soit attirée par la rampe au point N . Exprimer le rapport de l'intensité de la force électrique à l'intensité du poids en fonction de la densité de charge par unité de masse ρ , de l'intensité du champ électrique \vec{E} et de l'accélération de la gravitation \vec{g} . On pourra utiliser le résultat de la question 3 de la partie 0.

4. Déterminer l'intensité du champ électrique nécessaire pour que la force électrique soit plus intense que le poids si la densité de charge est $\rho = 30 \text{ mC.kg}^{-1}$.
5. Avec le champ électrique mesuré au point Q quelle devrait être la densité de charge ρ des gouttes pour que la force électrique soit plus grande que le poids ?
6. Que peut-on conclure sur l'argumentaire commercial des vendeurs ?

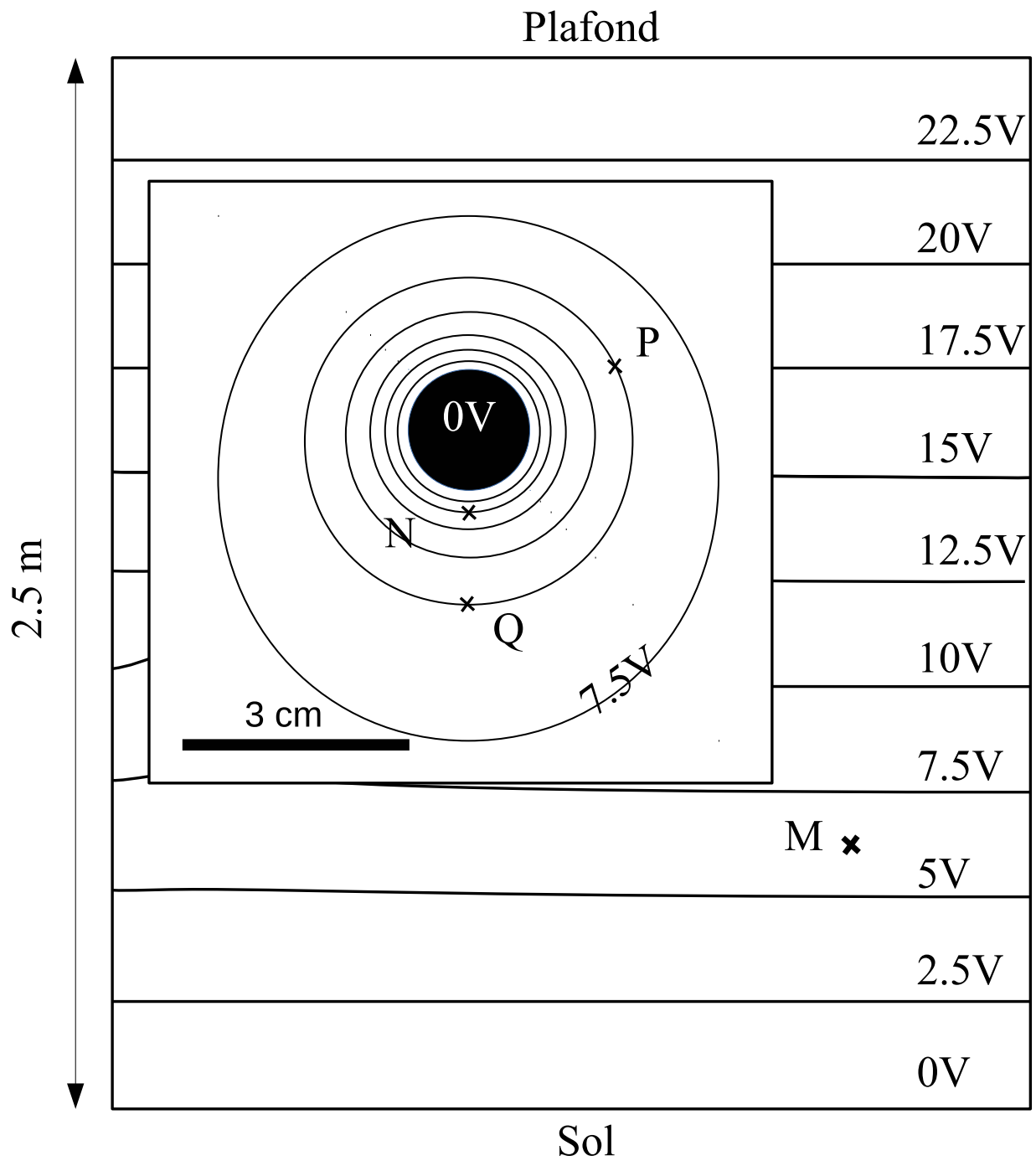
Références

- [1] L Chan, Electric Field Inside a Typical US Home. *The Physics Factbook* <https://hypertextbook.com/facts/2001/LisaChan.shtml#>

Nom :.....



Annexe 1 : Figure à compléter et à rendre avec votre devoir.



Annexe 2 : Figure à compléter et à rendre avec votre devoir.