CH 1 INTRODUCTION ET ÉLECTROSTATIQUE

CONSTANTES UTILES

$e = 1{,}602 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$k = 8{,}988 \times 10^{9}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$

$N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$

ÉQUATIONS LIÉES AU CHAPITRE :

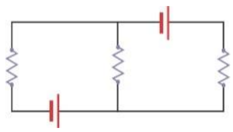
$$\boxed{q = \pm Ne}$$

$$\boxed{F_é = \frac{k|q_1 q_2|}{r^2}}$$

1.1 INTRODUCTION AUX CIRCUITS

1.1 Question : Le circuit #1 solution ▶

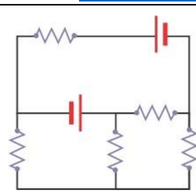
Dans le circuit suivant, déterminez :



a) le nombre de nœuds;
b) le nombre de branches;
c) le nombre de mailles simples.

1.2 Question : Le circuit #2 solution ▶

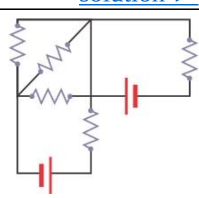
Dans le circuit suivant, déterminez :



a) le nombre de nœuds;
b) le nombre de branches;
c) le nombre de mailles simples.

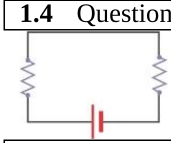
1.3 Question : Le circuit #3 solution ▶

Dans le circuit suivant, déterminez :



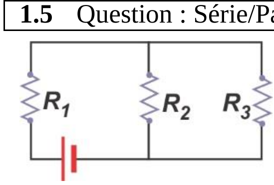
a) le nombre de nœuds;
b) le nombre de branches;
c) le nombre de mailles simples.

1.4 Question : Série/Parallèle #1 solution ▶



Déterminez pour le circuit ci-contre si les résistances sont branchées en série ou en parallèle.

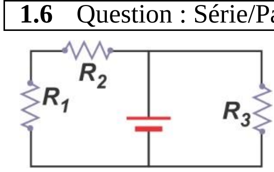
1.5 Question : Série/Parallèle #2 solution ▶



Déterminez dans le circuit ci-contre les associations de résistance :

a) en parallèle;
b) en série.

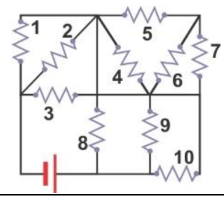
1.6 Question : Série/Parallèle #3 solution ▶



Déterminez dans le circuit ci-contre les associations de résistance :

a) en parallèle;
b) en série.

1.7 Question : Le court-circuit solution ▶

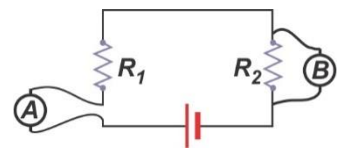


Dans le circuit ci-contre, déterminez quelles résistances individuelles sont court-circuitées.

1.8 Question : Le multimètre #1 solution ▶

Sur le circuit suivant, que permet de mesurer :

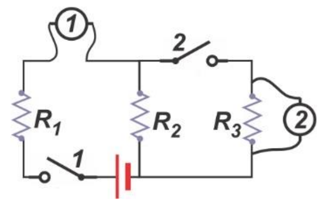
a) le multimètre A?
b) le multimètre B?



1.9 Question : Le multimètre #2 solution ▶

Sur le circuit suivant, que permettent de mesurer les deux multimètres si :

a) Les deux interrupteurs sont fermés;
b) Seul l'interrupteur 1 est fermé;
c) Seul l'interrupteur 2 est fermé.



1.2 LA CHARGE ÉLECTRIQUE

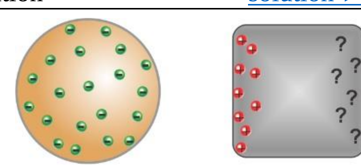
1.10 Exercice : Calcul de charge solution ▶

Déterminez la charge électrique des items suivants :

a) Le noyau d'un atome d'hélium ${}^{4}_{2}\text{He}$;
b) Un ion Na^{+};
c) Une mole d'ion Cl^{2-}.

1.11 Question : La séparation solution ▶

On approche une sphère chargée négativement de $-40\ \text{nC}$ d'un bloc conducteur neutre (sans les mettre en contact) pour y induire une séparation de charge.

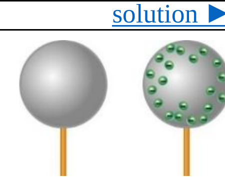


Après séparation, une charge de $+10\ \text{nC}$ occupe la face du bloc qui fait face à la sphère chargée. Quelle charge occupera alors la face opposée?

a) Une charge de $-40\ \text{nC}$;
b) Une charge de $-30\ \text{nC}$;
c) Une charge de $-10\ \text{nC}$;
d) Une charge nulle;
e) Une charge de $+10\ \text{nC}$.
f) Une charge de $+30\ \text{nC}$.
g) Une charge de $+40\ \text{nC}$.

1.12 Exercice : L'échange solution ▶

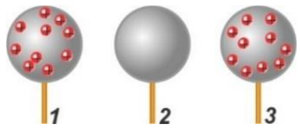
Deux sphères conductrices identiques dont l'une est neutre et l'autre porte une charge $q = -2\ \mu\text{C}$ sont mises en contact. Quelle sera la charge de chacune des deux sphères après le contact?



1.1- a) 2 — b) 3 — c) 2 — **1.2**- a) 4 — b) 6 — c) 3 — **1.3**- a) 2 ou 3 — b) 6 (ou 5) — c) 4 — **1.4**- En série — **1.5**- a) R_2 et R_3 — b) R_1 et R_{23}
1.6- a) R_3 et R_{12} — b) R_1 et R_2 — **1.7**- #4 — **1.8**- a) I — b) ΔV_{R2} — **1.9**- a) I_{R1} et ΔV_{R3} — b) I_{R1} et R_3 — c) Rien et R_{23} en parallèle
1.10- a) $q = 3{,}20 \times 10^{-19}$ C — b) $q = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C — c) $q = -1{,}93 \times 10^{5}$ C — **1.11**- c) — **1.12**- $q = -1{,}00\ \mu\text{C}$

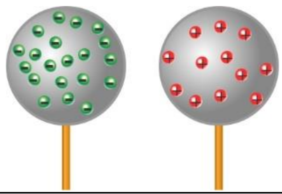
1.13 Exercice : L'échange double [solution ▶]

Soit trois sphères conductrices identiques disposées de la manière ci-contre et dont deux portent une charge $q_1 = q_3 = 5$ µC et l'autre est neutre ($q_2 = 0$). La sphère 1 est mise en contact momentanément avec la sphère 2, et celle-ci est mise en contact ensuite avec la sphère 3. Quelle sera la charge de chacune des sphères après ces deux actions?

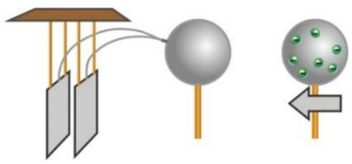


1.14 Exercice : Plus et moins [solution ▶]

Deux sphères conductrices identiques portant des charges $q_1 = -20$ µC et $q_2 = +12$ µC sont mises en contact. Quelle charge sera transférée d'une sphère à l'autre lors du contact?



1.15 Question : L'électroscope [solution ▶]



Soit deux feuilles métalliques suspendues librement face à face, chacune étant connectée par un fil conducteur à une sphère métallique. L'assemblage entier ne porte initialement aucune charge. On approche de la sphère une seconde sphère chargée négativement, sans créer contact. (Voir fonctionner un électroscope.)

a) Comment se comporteront les deux plaques métalliques lorsqu'on approche la sphère chargée de la sphère neutre?
b) Comment se comporteront les plaques métalliques si la sphère chargée qu'on utilise est plutôt chargée positivement?
c) Dans le scénario d'une sphère chargée négativement, qu'adviendra-t-il des plaques métalliques si on met en contact les deux sphères?

1.3 LA LOI DE COULOMB

(À faire si vu en classe)

1.16 Exercice : La charge [solution ▶]

Deux charges identiques q sont placées à 5 cm l'une de l'autre et chacune exerce sur l'autre une force de répulsion de 1,53 N. Déterminez q.

1.17 Exercice : La diagonale [solution ▶]

Une charge q_1 de +3 µC se trouve à l'origine et une charge q_2 de +1 µC est à la position $(3\vec{\imath} + 2\vec{\jmath})$ m. Déterminez :

a) le module de la force agissant sur la charge q_2;
b) l'orientation de la force agissant sur q_1.
c) Exprimez sous forme de vecteur la force agissant sur q_1 en fonction des vecteurs unitaires fondamentaux $\vec{\imath}$ et $\vec{\jmath}$.

1.18 Exercice : Secondes solutions des fonctions inverses

Essayez ces exercices en ligne pour vérifier si vous maîtrisez le concept de double solution pour les fonction trigonométriques inverses.

1.19 Exercice : Le trio de charge [solution ▶]

Soit trois particules aux charges et positions suivantes :

$q_1 = +1$ µC $\quad \vec{r}_1 = (0)$ m,

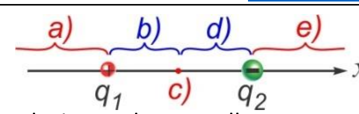
$q_2 = +2$ µC $\quad \vec{r}_2 = (2\vec{\imath})$ m,

$q_3 = -3$ µC $\quad \vec{r}_3 = (2\vec{\jmath})$ m.

a) Déterminez la force agissant sur q_1.
b) Déterminez la force agissant sur q_3.

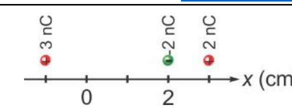
1.20 Question : L'équilibre [solution ▶]

Soit deux charges $q_1 = q$ et $q_2 = -2q$ fixées à une certaine distance l'une de l'autre comme sur la figure ci-contre. À quel endroit ou dans quelle zone, sur l'axe x, une troisième charge est-elle susceptible d'être en équilibre?



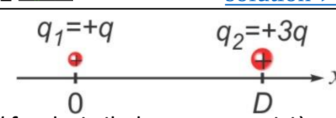
1.21 Exercice : L'accélération [solution ▶]

Trois petites sphères de 1,5 g chacune sont disposées sur une droite de la manière décrite par la figure suivante. Déterminez l'accélération de la charge de +2 nC au moment où les positions sont celles décrites par la figure.



1.22 Exercice : L'équilibre 2 [solution ▶]

Soit deux charges placées à une distance $D = 1$ m l'une de l'autre et libres de se déplacer, avec $q_1 = +q$ et $q_2 = +3q$. À quelle position d faudrait-il placer une troisième charge q_3 pour que toutes les charges soient en équilibre, et quelle est la valeur de cette 3e charge?



1.13 - $q_1 = 2{,}50$ µC, $q_2 = 3{,}75$ µC, $q_3 = 3{,}75$ µC — **1.14** - −16 µC — **1.15** - a) Répulsion — b) Répulsion — c) Répulsion réduite — **1.16** - 652 nC

1.17 - a) $F = 2{,}07\times10^{-3}$ N — b) θ = 214° — c) $(-1{,}73\vec{\imath} - 1{,}15\vec{\jmath})\times10^{-3}$ N — **1.18** — **1.19** - a) $\vec{F}_1 = (-4{,}49\vec{\imath} + 6{,}74\vec{\jmath})\times10^{-3}$ N — b) $\vec{F}_3 = (4{,}77\vec{\imath} - 11{,}51\vec{\jmath})\times10^{-3}$ N —

1.20 - a) — **1.21** - $\vec{a} = -0{,}217\vec{\imath}$ m/s² — **1.22** - $d = 0{,}402q$, $x_3 = 0{,}366$ m

CH 1 INTRODUCTION

1.1 UNITÉS ET SYSTÈME INTERNATIONAL

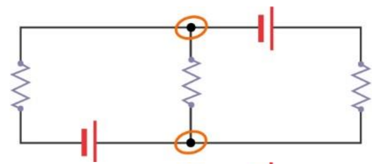
1.1 Solution : Le circuit #1 retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) 2 nœuds

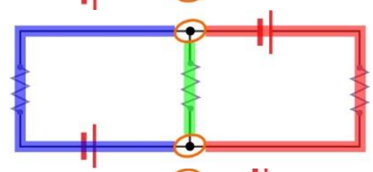
Un nœud est le point de rencontre de trois fils ou plus, et non seulement un angle dans le tracé d'un circuit.

Il y a sur le circuit présenté deux points de rencontre de 3 fils. Voir les deux points encerclés sur la figure ci-contre.



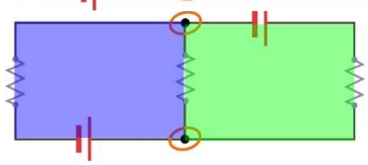
b) 3 branches

Une branche est un chemin conducteur entre deux nœuds consécutifs. Entre les deux nœuds identifiés en a), les trois chemins sont mis en évidence en bleu, vert et rouge sur la figure ci-contre.



c) 2 mailles simples

Le nombre de mailles simples correspond au nombre de zones délimitées par les branches du circuit. Le circuit donné délimite deux zones, identifiées en bleu et en vert sur la figure suivante.



retour à la question ▲

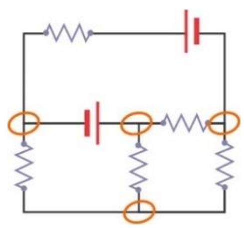
1.2 Solution : Le circuit #2 retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) 4 nœuds

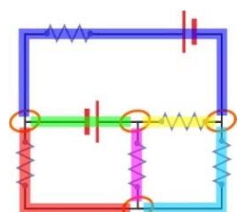
Un nœud est le point de rencontre de trois fils ou plus, et non seulement un angle dans le tracé d'un circuit.

Il y a sur le circuit présenté quatre points de rencontre de 3 fils. Voir les quatre points encerclés sur la figure ci-contre.



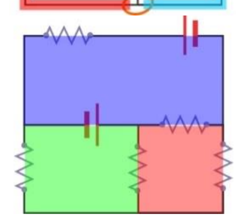
b) 6 branches

Une branche est un chemin conducteur entre deux nœuds consécutifs. Les quatre nœuds identifiés en a) impliquent 6 chemins entre eux, mis en évidence en couleur sur la figure ci-contre.



c) 3 mailles simples

Le nombre de mailles simples correspond au nombre de zones délimitées par les branches du circuit. Le circuit donné délimite trois zones, identifiées en bleu, en vert et en rouge sur la figure ci-contre.



retour à la question ▲

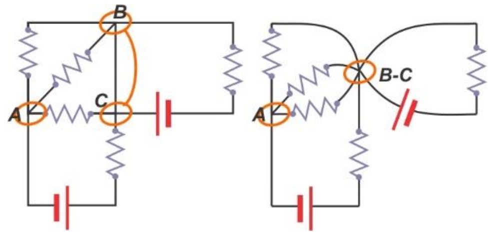
retour à la question ▲

1.3 Solution : Le circuit #3 retour à la question ▲

a) 2 ou 3 nœuds

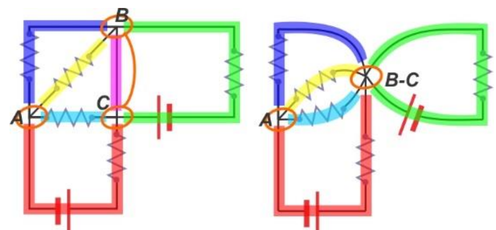
Il y a sur le circuit représenté 3 points de rencontres de trois fils ou plus, identifiés A, B et C sur la figure ci-contre à gauche.

Cependant, les nœuds B et C sont reliés directement par un fil ne comportant aucune résistance. Ils constituent donc électriquement un même nœud, et pourraient être réunis en un seul nœud, comme sur la figure de droite. Le circuit ainsi modifié aurait alors exactement les mêmes propriétés, en comportant alors seulement deux nœuds.



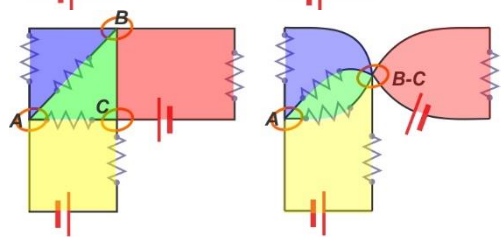
b) 5 ou 6 branches

Selon les deux représentations du circuit illustrées en a), on peut compter un nombre différent de branches (images ci-contre). Sur l'image de droite, la branche reliant les nœuds B et C originaux a été supprimée lors de la réunion de ces deux nœuds en un seul. Comme ces deux nœuds équivalaient à un même nœud, on pourrait choisir de ne pas considérer comme une branche le fil qui les reliait.



c) 4 mailles simples

Dans les deux versions du circuit discutées en a) et b), le nombre de mailles est le même, quatre mailles. Ces mailles sont identifiées par les zones colorées sur les figures ci-contre, et la réunion des nœuds originaux B et C ne modifie pas le nombre de zones distinctes.

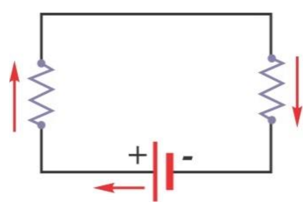


retour à la question ▲

1.4 Solution : Série/Parallèle #1 retour à la question ▲

En série

En considérant que le courant est émis par la borne positive de la source (voir figure ci-contre), on constate que le seul chemin permettant au courant de retourner à la source est de parcourir une à la suite de l'autre les deux résistances. Elles sont donc en série si la totalité du courant doit traverser les deux résistances sur son chemin.



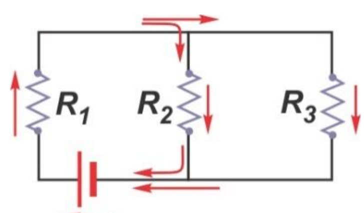
retour à la question ▲

1.5 Solution : Série/Parallèle #2 retour à la question ▲

a) Les résistances R_2 et R_3

La résistance R_1 n'est nécessairement pas branchée en parallèle avec aucune autre car le courant émis par la source doit la traverser en entier.

Par contre, au premier nœud rencontré, le courant se divise en deux portions (pas nécessairement égales) pour traverser R_2 et R_3 séparément, avant de se réunifier à nouveau pour retourner à la source. R_2 et R_3 sont donc en parallèle.



Selon un autre critère, les résistances R_2 et R_3 sont toutes les deux reliées aux mêmes deux nœuds, ce qui ne s'applique pas à R_1 avec aucune des autres résistances.

b) R_1 en série avec la source et avec le groupe R_{23}

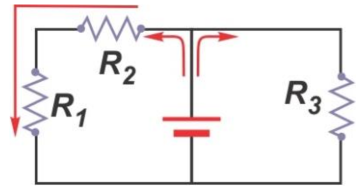
Sur la même branche que R_1, on trouve seulement la source. On pourrait donc affirmer que la résistance R_1 est en série avec la source même s'il ne s'agit pas d'une composante du même type.

Le courant ayant traversé R_1 traverse ensuite le groupe de deux résistances « R_2R_3 » avant de retourner à la source. R_1 est donc en série avec le groupe « R_{23} », mais n'est pas en série avec R_2 seule ni avec R_3 seule.

retour à la question ▲

1.6 Solution : Série/Parallèle #3 retour à la question ▲

a) R_3 en parallèle avec le groupe R_{12}



Le courant émis par la source (vers le haut) se divise au nœud du haut pour parcourir en partie la branche de gauche (et redescendre dans R_2 et R_1 successivement) et en partie dans la branche de droite (pour redescendre dans R_3 seulement).

R_3 est donc en parallèle avec le groupe R_{12}.

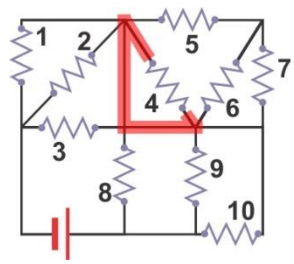
b) R_1 en série avec R_2

Dans la branche de gauche, la portion de courant provenant du nœud du haut parcourt une après l'autre les résistances R_2 et R_1. Ces deux résistances sont donc en série.

retour à la question ▲

1.7 Solution : Le court-circuit retour à la question ▲

La résistance #4



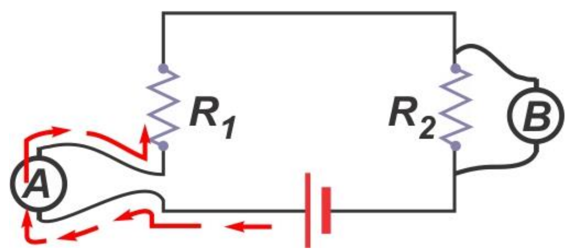
Une composante court-circuitée est une composante dont les deux bornes sont reliées par un fil direct, sans autre composante (résistance ou n'importe quelle autre composante) entre elles.

Pour chaque composante, on peut déterminer si elle est court-circuitée en vérifiant si un conducteur direct peut nous amener d'une borne à l'autre. Selon ce critère, une seule résistance est court-circuitée : la résistance #4. La figure ci-contre montre que ses deux bornes sont reliées directement par un fil ne comportant aucune autre composante. Aucune autre composante seule ne vérifie ce critère.

retour à la question ▲

1.8 Solution : Le multimètre #1 retour à la question ▲

a) Le courant dans le circuit



Le multimètre A est inséré dans la branche unique du circuit. Le courant qui circule dans le circuit doit donc le traverser en entier, ce qui permet donc de le mesurer au passage.

Par ailleurs, les sondes du multimètre ne sont pas placées de part et d'autre d'une composante. Par conséquent, le multimètre ne peut mesurer la différence de potentiel aux bornes d'une composante. Ni sa résistance, car il ne pourrait y faire passer un courant pour la mesurer.

b) ΔV_{R2}

Le multimètre B ne peut pas mesurer le courant de la façon dont il est branché, car sans brèche au circuit, il ne peut faire en sorte que le courant à mesurer le traverse entièrement : une portion du courant pourrait toujours passer par R_2 et rendre incorrecte la mesure du courant.

Il ne peut pas non plus mesurer la résistance de R_2 car il faudrait pour cela que R_2 ne soit pas en train de porter un courant autre que celui qui serait envoyé par l'ohmmètre.

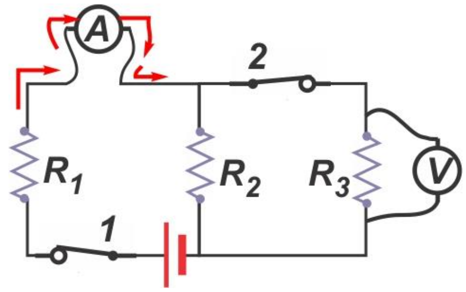
Il s'agit donc d'une situation où la seule mesure pertinente serait celle de la différence de potentiel aux bornes de R_2, ΔV_{R2}.

retour à la question ▲

1.9 Solution : Le multimètre #2 retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) I_{R1} et ΔV_{R3}



Le multimètre 1 n'étant pas branché aux bornes d'une composante (comme si les deux bornes étaient branchées au même point de la branche), aucune mesure de potentiel ou de résistance ne pourrait être faite.

Si l'interrupteur 1 est fermé, la source parvient à diriger un courant vers R_1, et le multimètre 1, de la façon dont il est branché, sera traversé entièrement par le courant ayant traversé R_1. Le courant mesuré sera donc autant celui de R_1 que celui de la source.

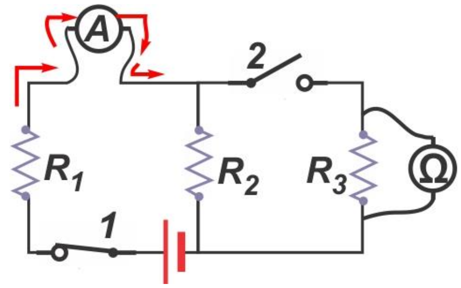
Le multimètre 2 ne peut être utilisé ainsi pour mesurer un courant car il n'est pas branché aux bornes d'une brèche qui aurait été faite dans le circuit.

Si les deux interrupteurs sont fermés, un courant circulera dans la résistance R_3 empêchant ainsi que le multimètre 2 puisse mesurer correctement sa résistance.

C'est donc la différence de potentiel aux bornes de R_3 qui peut être mesurée, différence de potentiel provoquée par le courant que le circuit envoie dans R_3. (Cette d.d.p. se trouvera à être aussi celle de R_2 car R_2 et R_3 sont reliées en parallèle; mais l'emplacement des sondes du voltmètre suggère que c'est à R_3 qu'on s'intéresse particulièrement.)

retour à la question ▲

b) I_{R1} et R_3

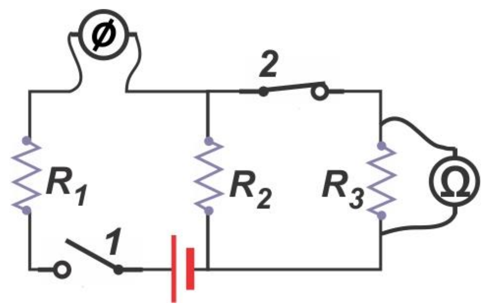


Si seul l'interrupteur 1 est fermé, aucun courant ne circulera dans la branche de droite.

Encore une fois, le multimètre 1 pourra mesurer le courant après qu'il soit passé dans la résistance R_1 car il est inséré dans une brèche faite dans la branche.

Le multimètre 2 pourra mesurer la résistance de R_3 puisque le fait que l'interrupteur 2 soit ouvert l'isole du circuit. Elle ne portera aucun courant et ne montrerait aucune différence de potentiel.

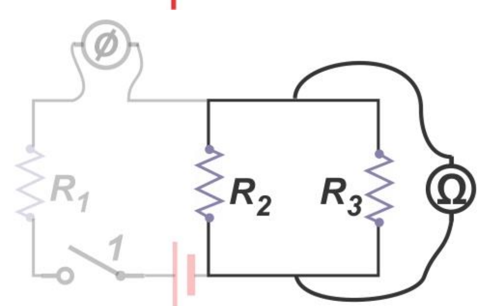
c) Rien et R_{23} en parallèle



Puisque la branche dans laquelle se trouve la source comporte un interrupteur ouvert, la source ne peut envoyer aucun courant dans le circuit.

Puisqu'aucun courant ne circule nulle part, le multimètre 1 qui est branché de manière à ne pouvoir mesurer qu'un courant ne mesurera rien du tout.

Le multimètre 2 ne pourra mesurer aucune différence de potentiel si aucun courant ne circule dans les résistances. Il mesurera donc la résistance des résistances aux bornes desquelles il est branché.



Puisque ces deux résistances (R_2 et R_3) sont liées à leurs deux bornes, le courant envoyé par l'ohmmètre pour mesurer la résistance pourra parcourir les deux résistances et la résistance mesurée sera celle de l'assemblage en parallèle de R_2 et R_3 comme si elles étaient branchées en parallèle.

Le circuit ci-contre illustre un branchement équivalent.

retour à la question ▲

1.2 LA CHARGE ÉLECTRIQUE

1.10 Solution : Calcul de charge retour à la question ▲

a) $q = 3{,}204 \times 10^{-19}$ C

Un noyau d'hélium ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$ est composée de deux protons et deux neutrons; on ne considère pas les électrons si on précise qu'on ne parle que du noyau. Les deux neutrons ne portent pas de charge, la charge du noyau se limite donc à la somme des charges des deux protons (chacun porte une charte de $+e$) :

$$q = +Ne = 2 \times (1{,}602 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}) = \mathbf{3{,}204 \times 10^{-19}\ C}$$

b) $q = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C

Un ion Na^+ est un atome de sodium ayant perdu un électron, donc portant une charge excédentaire de $+1e$ en raison du proton en surplus (7 protons contre 6 électrons). Peu importe l'atome ou la molécule dont il s'agit, le calcul se limite à la charge excédentaire définie par le « $1+$ », donc la charge de cet ion est :

$$q = e = \mathbf{1{,}602 \times 10^{-19}\ C}.$$

c) $q = -1{,}93 \times 10^{5}$ C

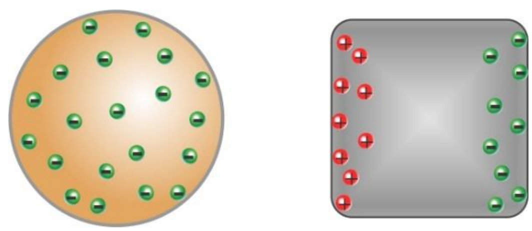
Chaque ion Cl^{2-} possède deux électrons en surplus (donc $q_{Cl} = \pm Ne = -2e$), et une mole de ces ions en contient $6{,}022 \times 10^{23}$. La charge totale est donc :

$$q = N_A \times q_{Cl} = N_A \times (-2e) = 6{,}022 \times 10^{23} \times \left(-2 \times (1{,}602 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})\right) = \mathbf{-1{,}93 \times 10^{5}\ C}$$

retour à la question ▲

1.11 Solution : La séparation retour à la question ▲

c) Une charge de -10 nC



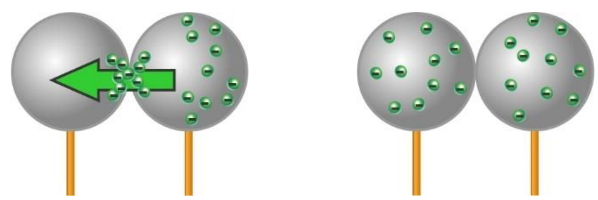
En l'absence de contact du bloc avec un autre objet, la charge nette du bloc (nulle au départ) demeure la même ($q = 0$). La somme des charges qui occupent les deux faces doit donc toujours égaler « 0 ».

Si la charge accumulée sur la face de gauche est de $+10$ nC, la charge sur la face opposée sera donc de même grandeur, mais de signe contraire, donc $\mathbf{-10\ nC}$.

retour à la question ▲

1.12 Solution : L'échange retour à la question ▲

$q_1 = q_2 = -1$ μC



La charge totale du système des deux sphères demeurera constante malgré le transfert de charge qui se produira. La charge totale $q_1 + q_2$ après le transfert sera donc de -2 μC encore.

Par ailleurs, par symétrie ou parce que les deux sphères sont identiques, on peut conclure qu'elles porteront des charges identiques, c'est-à-dire que $q_{1f} = q_{2f}$; on a donc un système simple de deux équations et deux inconnues :

$$q_{1f} = q_{2f} \qquad \text{et} \qquad q_{1f} + q_{2f} = -2\ \mu\mathrm{C},$$

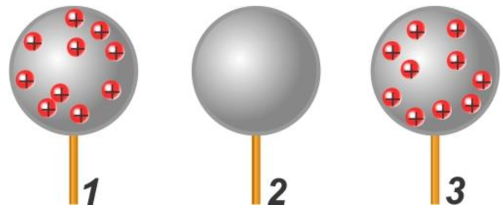
dont la solution est $q_1 = q_2 = \mathbf{-1\ \mu C}$

retour à la question ▲

1.13 Solution : L'échange double retour à la question ▲

retour à la question ▲

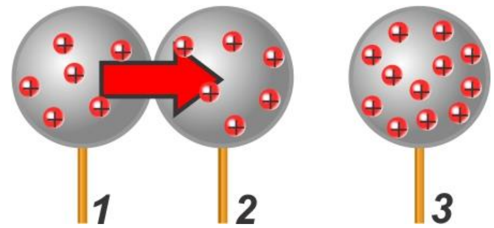
$q_1 = 2{,}50\ \mu C$, $q_2 = 3{,}75\ \mu C$, $q_3 = 3{,}75\ \mu C$



D'abord, rappelons que dans les faits, les échanges seront des transferts d'électrons, donc de charges négatives, et non de charges réellement positives. Cependant les charges résultant des échanges seront les mêmes que s'il s'agissait de transferts de charges positives.

Le premier contact de la sphère 1 avec la sphère 2 répartira également la charge totale de ces deux sphères sur chacune d'elles. La charge totale à répartir est :

$$q_{1i} + q_{2i} = 5\ \mu C + 0 = 5\ \mu C$$

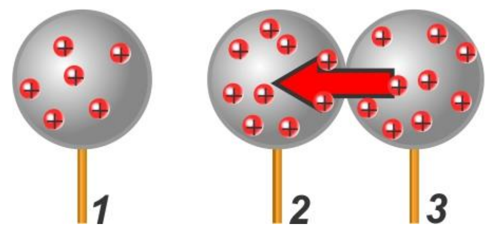


Après ce premier transfert, leurs charges seront donc identiques :

$$q_{1f} = q_{2f} = \frac{q_{1i} + q_{2i}}{2} = \frac{5\ \mu C + 0}{2} = 2{,}50\ \mu C$$

La charge de la sphère 1 ne sera plus modifiée par la suite ($q_1 = 2{,}50\ \mu C$).

retour à la question ▲



La sphère 2 étant mise en contact avec la sphère 3, leur charge totale est à son tour répartie sur ces deux sphères :

$$q_{2i} + q_{3i} = 2{,}5\ \mu C + 5\ \mu C = 7{,}5\ \mu C$$

Après ce deuxième transfert, leurs charges seront donc identiques.

La charge de la sphère 2 étant inférieure à celle de la sphère 3, le transfert de charges positives se fait de la sphère 3 vers la sphère 2, mais la méthode de calcul utilisée se fait sans égard à ce fait : après l'échange, les charges seront égales peu importe le sens du déséquilibre initial :

$$q_{2f} = q_{3f} = \frac{q_{2i} + q_{3i}}{2} = \frac{2{,}5\ \mu C + 5\ \mu C}{2} = 3{,}75\ \mu C$$

Les charges finales sont donc :

$$q_{1f} = \mathbf{2{,}50\ \mu C}, \quad q_{2f} = \mathbf{3{,}75\ \mu C}, \quad q_{3f} = \mathbf{3{,}75\ \mu C}$$

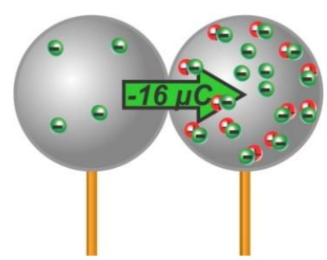
On peut valider ce résultant en constatant que la charge totale après les deux transferts est bien égale à la charge totale avant les échanges.

retour à la question ▲

1.14 Solution : Plus et moins retour à la question ▲

retour à la question ▲

$\Delta q = -16{,}0\ \mu C$

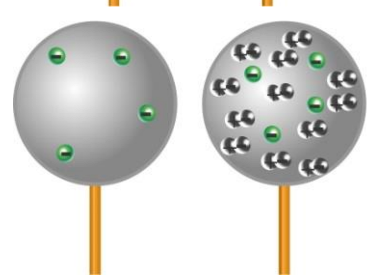


La charge totale du système des deux sphères demeurera constante malgré le transfert de charge qui se produira. La charge totale « $q_{1i} + q_{2i}$ » avant le transfert est donnée par :

$$q_{1i} + q_{2i} = -20\ \mu C + 12\ \mu C = -8\ \mu C$$

Cette charge nette se répartira également sur chacune des deux sphères lors du contact. Les deux charges finales identiques seront donc données par la moitié de la charge totale :

$$q_{1f} = q_{2f} = \frac{q_{1i} + q_{2i}}{2} = \frac{-20\ \mu C + 12\ \mu C}{2} = -4\ \mu C$$



Cette quantité est la charge finale de chaque sphère. Puisqu'on demande la charge transférée d'une sphère à l'autre, celle-ci correspond à la variation de charge d'une sphère :

$$\Delta q_1 = q_{1f} - q_{1i} = -4\ \mu C - (-20\ \mu C) = 16\ \mu C$$

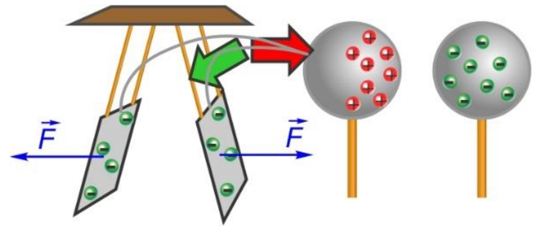
Cette valeur positive pour la sphère 1 correspond ou bien à un gain de charges positives ou bien à une perte de charge négatives. Comme on sait que les charges mobiles sont les charges négatives (les électrons), on doit conclure que la charge déplacée est une charge de $-16\ \mu C$, de la sphère 1 vers la sphère 2 (la variation de charge de la sphère 2 est $\Delta q_2 = \mathbf{-16\ \mu C}$).

retour à la question ▲

retour à la question ▲

1.15 Solution : L'électroscope retour à la question ▲

a) Elle se repoussent

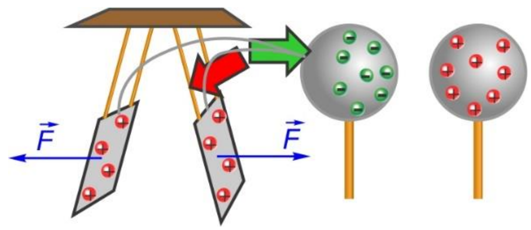


En approchant la sphère chargée négativement de la sphère neutre, on induit une séparation de charge dans le système de la sphère et des plaques. Une charge positive q s'accumule sur la sphère du système, attirée par la charge négative approchée. Le système connecté étant neutre une charge positive de même grandeur ($-q$) s'accumule sur les plaques suspendues. Par symétrie, chacune des deux plaques portera une charge identique à l'autre et de mêmes signes, faisant en sorte qu'elles se repousseront (voir figure ci-haut).

Remarque : dans les faits, l'accumulation d'une charge positive sur la sphère connectée correspond à la fuite d'électrons sur sa face exposée à la sphère négative; aucune charge positive (associée aux protons) ne s'est déplacée. Un certain nombre d'électrons à la surface de cette sphère sont repoussés vers les plaques où ils s'accumulent pour produire cette force de répulsion.

retour à la question ▲

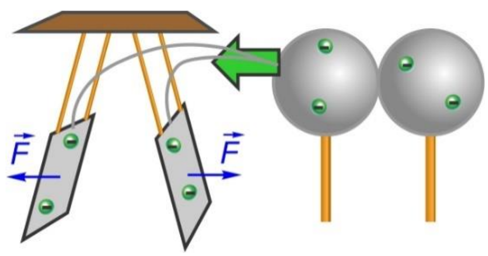
b) Elle se repoussent



Le fait d'inverser la charge de la sphère chargée qu'on rapproche de l'autre n'inverse pas le résultat.

Partout où des charges s'accumulaient dans le premier scénario, les charges seront inversées. Les deux plaques suspendues porteront donc toutes deux des charges positives et se repousseront à nouveau (voir figure ci-contre).

c) Répulsion réduite



Si, dans le scénario original, on met les sphères en contact, la charge négative de la sphère chargée se répartira dans le nouveau système entier des objets connectés. Une portion de la charge négative disponible sera transférée vers le système s'accumulera donc sur les deux plaques métalliques et elles se repousseront toujours. Cependant, cette répulsion sera moins forte que dans le scénario a) car la charge portée par les plaques n'est qu'une fraction de la charge initiale, alors qu'en a) la charge négative de la sphère chargée pouvait induire dans les plaques une charge équivalente entière.

retour à la question ▲

1.3 LA LOI DE COULOMB

retour à la question ▲

1.16 Solution : La charge retour à la question ▲

q = 652 nC

On cherche la valeur de la charge q dans l'équation de la loi de Coulomb :

$$F_é = \frac{k|q_1 q_2|}{r^2}.$$

Puisqu'on indique que les charges sont identiques, l'équation devient :

$$F_é = \frac{kq^2}{r^2}.$$

On peut alors isoler et calculer q :

$$q = \sqrt{\frac{F_é r^2}{k}} = \sqrt{\frac{1{,}53\text{ N} \times (0{,}05\text{ m})^2}{8{,}988 \times 10^9\,\frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}}} = 6{,}52355\ldots \times 10^{-7}\text{ C} = \mathbf{652\ nC}$$

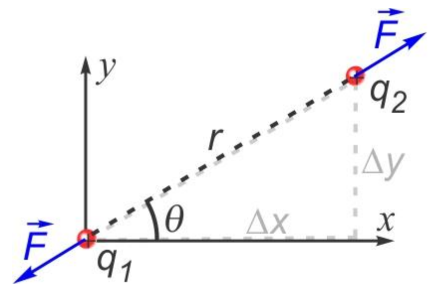
retour à la question ▲

1.17 Solution : La diagonale retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) $F = 2{,}07 \times 10^{-3}$ N

Mise en garde : pour appliquer la loi de Coulomb, on doit utiliser la réelle distance entre deux charges; on ne peut calculer distinctement les composantes de la force électrique en utilisant les composantes de distance entre les charges. On doit donc exprimer/calculer tout d'abord la distance entre les deux charges. À partir des coordonnées de q_2 :



$$r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2},$$

Le module de la force, selon la loi de Coulomb, est donc :

$$F_é = \frac{k|q_1 q_2|}{r^2} = \frac{k|q_1 q_2|}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}^2} = \frac{k|q_1 q_2|}{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$F_é = \frac{8{,}988 \times 10^9\ \frac{\mathrm{N \cdot m^2}}{\mathrm{C^2}} \times |(3 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}) \times (1 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})|}{(3\ \mathrm{m})^2 + (2\ \mathrm{m})^2} = \mathbf{2{,}07 \times 10^{-3}\ N}$$

b) θ = 214°

L'orientation de la force agissant sur q_1 est l'une des deux orientations parallèles à la droite reliant les deux charges. La figure qui précède montre par ailleurs que la force agissant sur q_1 est orientée dans le 3ᵉ cadran. Puisque l'une est à l'origine, à partir des coordonnées de q_2, on trouve :

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2\ \mathrm{m}}{3\ \mathrm{m}}\right) = 33{,}7°$$

retour à la question ▲

Cet angle ne se trouve pas dans le 2ᵉ cadran; l'angle recherché est donc à l'opposé de 33,7°, c'est-à-dire :

$$\theta' = 33{,}7° + 180° = 214°$$

c) $\vec{F} = (-1{,}73\vec{\imath} - 1{,}15\vec{\jmath}) \times 10^{-3}$ N

On s'intéresse cette fois-ci à la force agissant sur q_1. Selon le principe d'action réaction, la force agissant sur q_1 est de même module et opposée à celle agissant sur q_2. C'est donc une force de $2{,}07 \times 10^{-3}$ N orientée à θ_1 = 33,7°+180° = 213,7°. On peut alors calculer les composantes de la force sur q_1 :

$$F_x = (2{,}07 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}) \times \cos 213{,}7° = -1{,}73 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

$$F_y = (2{,}07 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}) \times \sin 213{,}7° = -1{,}15 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

On peut alors exprimer le vecteur force sur q_1 par :

$$\vec{F} = \mathbf{(-1{,}73\vec{\imath} - 1{,}15\vec{\jmath}) \times 10^{-3}\ N}$$

retour à la question ▲

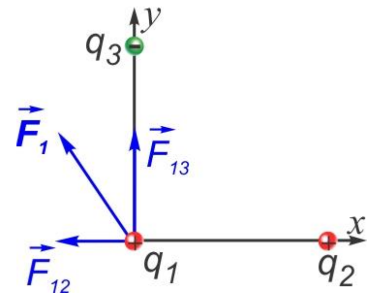
1.18 Solution : Secondes solutions des fonctions trigonométriques inverses retour à la question ▲

Exercices en ligne

1.19 Solution : Le trio de charge retour à la question ▲

a) $\vec{F}_1 = (-4{,}49\vec{\imath} + 6{,}74\vec{\jmath}) \times 10^{-3}$ N

La charge q_1 à l'origine subit deux forces, produites par q_2 et q_3. Pour trouver la force résultante sur q_1, déterminons d'abord séparément chacune de ces deux forces.



D'abord la force sur q_1 provenant de q_2 :

$$F_{12} = \frac{k|q_1 q_2|}{r_{12}^2} = \frac{\left(8{,}988 \times 10^9\,\frac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right) \times |(1 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}) \times (2 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})|}{(2\ \mathrm{m})^2}$$

$$F_{12} = 4{,}494 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

Cette force est une répulsion (charges de mêmes signes) sur q_1, donc une force agissant vers la gauche, d'où :

$$\vec{F}_{12} = -4{,}494 \times 10^{-3}\vec{\imath}\ \mathrm{N}$$

Ensuite la force sur q_1 provenant de q_3 :

$$F_{13} = \frac{k|q_1 q_3|}{r_{13}^2} = \frac{\left(8{,}988 \times 10^9\,\frac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right) \times |(1 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}) \times (-3 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})|}{(2\ \mathrm{m})^2} = 6{,}741 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

Cette force est une attraction sur q_1 (charges de signes contraires), donc une force agissant vers le haut, d'où :

$$\vec{F}_{13} = 6{,}741 \times 10^{-3}\vec{\jmath}\ \mathrm{N}$$

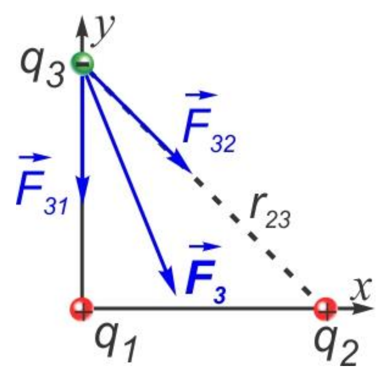
On doit ensuite additionner les deux forces agissant sur q_1. Puisque chacune de ces deux force agit selon un seul axe, cette addition ne demande pas de calcul :

$$\vec{F}_1 = \mathbf{(-4,49\vec{\imath} + 6,74\vec{\jmath}) \times 10^{-3}\ N}$$

b) $\vec{F}_3 = (4{,}77\vec{\imath} - 11{,}51\vec{\jmath}) \times 10^{-3}$ N

La charge q_3 subit deux forces, produites par q_1 et q_2. Pour trouver la force résultante sur q_3, on doit déterminer d'abord séparément chacune de ces deux forces.

La force sur q_3 provenant de q_1 selon le principe d'action-réaction, est de même grandeur et de sens opposée à la force sur q_1 provenant de q_3, qui a été calculée en a). Il n'est donc pas nécessaire de refaire le calcul, simplement à considérer pour q_3 que cette force agit vers le bas (attraction par q_1) :



$$\vec{F}_{31} = -6{,}741 \times 10^{-3}\vec{\jmath}\ \mathrm{N}$$

Ensuite la force sur q_3 provenant de q_2… Cette force demande qu'on utilise la valeur de la distance entre q_2 et q_3 :

$$r_{23} = \sqrt{(2\ \mathrm{m})^2 + (2\ \mathrm{m})^2} = \sqrt{8}\ \mathrm{m}$$

Le module de la force de q_2 sur q_3 est alors :

$$F_{32} = \frac{k|q_3 q_2|}{r_{23}^2} = \frac{\left(8{,}988 \times 10^9\,\frac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right) \times |(-3 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}) \times (2 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})|}{\left(\sqrt{8}\ \mathrm{m}\right)^2} = 6{,}741 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

Cette force est une attraction sur q_3 (charges de signes contraires). L'orientation de cette force est la même que celle de la droite reliant q_2 et q_3, donc orientée à 45° sous l'axe des x, d'où θ = –45°. Ses composantes sont donc :

$$F_{32x} = (6{,}741 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}) \times \cos(-45°) = 4{,}77 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

$$F_{32y} = (6{,}741 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}) \times \sin(-45°) = -4{,}77 \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

La force résultant sur q_3 est donc :

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} = -6{,}741 \times 10^{-3}\vec{\jmath}\ \mathrm{N} + (4{,}77\vec{\imath} - 4{,}77\vec{\jmath}) \times 10^{-3}\ \mathrm{N}$$

$$\vec{F}_3 = \mathbf{(4,77\vec{\imath} - 11,51\vec{\jmath}) \times 10^{-3}\ N}$$

retour à la question ▲

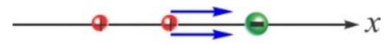
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

1.20 Solution : L'équilibre retour à la question ▲

retour à la question ▲

Dans la zone a)

On cherche un endroit où une 3e charge serait en équilibre, sans nous donner le signe ni la valeur de cette 3e charge. On doit comprendre que ça n'a pas d'influence sur le résultat. Aussi, l'une des charges est deux fois plus grande que l'autre, mais seul le fait qu'elle soit plus grande importe, sans égard au rapport des charges, car on s'intéresse à des zones plutôt qu'à un endroit précis.



Par ailleurs, le fait que les deux charges présentes soient de signes contraires exclut d'emblée tout l'espace entre elles car à cet endroit, une charge positive comme négative subirait deux forces dans la même direction (voir ci-contre ces deux scénarios illustrés).

On doit donc encore choisir entre les zones a) et e).

L'une des charges présentes étant plus petite que l'autre ($q_1 < q_2$), le seul scénario où elle produirait sur une 3e charge une force de même grandeur que l'autre est une situation où elle serait plus rapprochée (pour compenser). Le seul endroit sur l'axe où on pourrait placer une 3e charge pour qu'elle soit plus près de q_1 que de q_2 est à gauche de q_1, soit dans la zone a). Dans la zone e), une charge serait plus près de la charge la plus grande, deux facteurs faisant en sorte que la force produite par celle-ci soit plus grande que la force produite par l'autre (voir figures ci-contre).

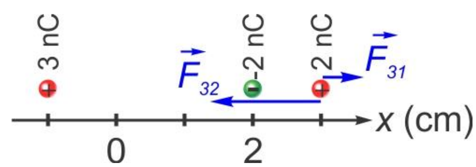
retour à la question ▲

1.21 Solution : L'accélération retour à la question ▲

retour à la question ▲

$\vec{a} = -0{,}217\vec{\imath}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

Le calcul de l'accélération requiert l'équation de la 2e loi de Newton : $\vec{F} = m\vec{a}$. La masse étant connu, on doit encore déterminer la force résultante subie par la charge étudiée, force résultant des deux forces provenant des deux particules voisines. Si on appelle respectivement q_1, q_2 et q_3 les charges de 3 nC, –2 nC et 2 nC, on cherche la force résultant sur q_3. Calculons d'abord F_{31}, impliquant une distance de 4 cm :



$$F_{31} = \frac{k|q_1 q_3|}{r_{13}^2} = \frac{\left(8{,}988 \times 10^9\,\frac{\mathrm{N{\cdot}m^2}}{\mathrm{C^2}}\right) \times |(3 \times 10^{-9}\,\mathrm{C}) \times (2 \times 10^{-9}\,\mathrm{C})|}{(0{,}04\,\mathrm{m})^2} = 3{,}3705 \times 10^{-5}\,\mathrm{N}$$

Cette force est une répulsion, donc une force vers la droite pour q_3 :

$$\vec{F}_{31} = 3{,}3705 \times 10^{-5}\vec{\imath}\,N$$

Calculons ensuite F_{32}, impliquant une distance de 1 cm :

$$F_{32} = \frac{k|q_2 q_3|}{r_{13}^2} = \frac{\left(8{,}988 \times 10^9\,\frac{\mathrm{N{\cdot}m^2}}{\mathrm{C^2}}\right) \times |(-2 \times 10^{-9}\,\mathrm{C}) \times (2 \times 10^{-9}\,\mathrm{C})|}{(0{,}01\,\mathrm{m})^2} = 3{,}5952 \times 10^{-4}\,\mathrm{N}$$

Cette force est une attraction, donc une force vers la gauche pour q_3 :

$$\vec{F}_{32} = -3{,}5952 \times 10^{-4}\vec{\imath}\,\mathrm{N}$$

On peut alors calculer la force résultant agissant sur q_3 :

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} = 3{,}3705 \times 10^{-5}\vec{\imath}\,\mathrm{N} + (-3{,}5952 \times 10^{-4}\vec{\imath}\,\mathrm{N}) = -3{,}26 \times 10^{-4}\vec{\imath}\,\mathrm{N}$$

On peut finalement calculer l'accélération subie par cette charge :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{-3{,}26 \times 10^{-4}\vec{\imath}\,\mathrm{N}}{0{,}0015\,\mathrm{kg}} = \mathbf{-0{,}217\vec{\imath}\,\frac{m}{s^2}}$$

retour à la question ▲

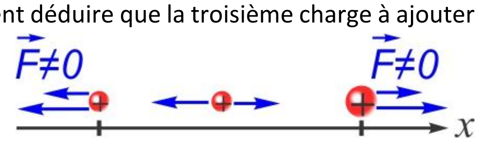
retour à la question ▲

1.22 Solution : L'équilibre 2 retour à la question ▲

retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

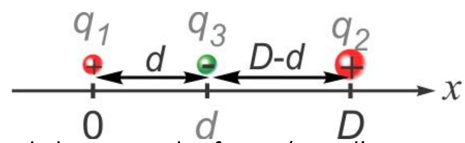
$d = -0{,}402q$, $x_3 = 0{,}366$ m

Puisque les deux charges présentes au départ sont positives, on peut rapidement déduire que la troisième charge à ajouter doit être négative, sans quoi un trio de charges positives ne produirait que de la répulsion sur chacune d'elles et aucune position ne permettrait un équilibre (voir sur la figure ci-contre les charges aux extrémités du trio subissant une force résultant nécessairement non nulle). La troisième charge q_3 est donc nécessairement négative ($q_3 < 0$).



Sachant que $q_3 < 0$, on peut également déterminer logiquement dans quel secteur elle devrait se trouver : si on ajoutait une charge négative à gauche ou à droite de la paire initiale, la charge négative subirait deux forces d'attraction dans la même direction (voir sur la figure ci-contre une charge négative subir deux forces d'attraction dans la même direction si elle est ajoutée à gauche ou à droite de la paire initiale). La charge négative à ajouter doit donc nécessairement se trouver entre les deux charges positives de départ.

L'endroit où on ajoutera q_3 définira les distances entre cette charge et les autres charges. Appelons d la distance entre q_1 et q_3. Ainsi, la distance entre q_3 et l'autre charge sera « 1 m – d » (voir figure ci-contre).



À l'endroit recherché, la somme des forces sur chaque charge est nulle. Puisque chaque charge subit les forces de ses deux voisines, on peut affirmer que chacune subit deux forces opposées de mêmes modules. Si on rédige l'équation de la somme des forces (pour l'axe x sur lequel sont disposées les charges), on obtiendra un système d'équations permettant de trouver la valeur d.

Pour la charge q_1 :

$$\sum\vec{F}_1 = m\underbrace{\vec{a}}_{=0} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} = 0$$

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{13}$$

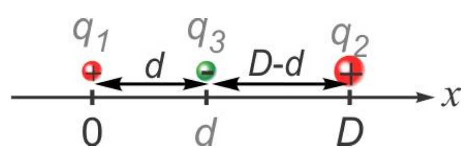
$$F_{12} = F_{13} \qquad \text{(les modules sont identiques)}$$

$$\frac{k|q_1q_2|}{r_{12}^2} = \frac{k|q_1q_3|}{r_{13}^2}$$

En simplifiant et en tenant compte du fait que q_1 est positive et que $|q_3| = -q_3$:

$$\frac{q_2}{D^2} = \frac{-q_3}{d^2} \tag{1}$$

Cette équation comporte deux inconnues (d et q_3). En appliquant la même procédure pour une autre charge (prenons q_3), on aura une autre équation impliquant les mêmes inconnues :



$$\sum\vec{F}_3 = m\underbrace{\vec{a}}_{=0} = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} = 0$$

$$\vec{F}_{31} = -\vec{F}_{32}$$

$$F_{31} = F_{32} \qquad \text{(les modules sont identiques)}$$

$$\frac{k|q_1q_3|}{r_{13}^2} = \frac{k|q_2q_3|}{r_{23}^2}$$

En simplifiant et en tenant compte du fait que q_1 et q_2 sont toutes deux positives :

$$\frac{q_1}{d^2} = \frac{q_2}{(D-d)^2} \tag{2}$$

Cette équation ne comporte qu'une inconnue, d. On pourrait donc déjà déterminer d, et utiliser ensuite l'équation 1 pour déterminer la valeur de la charge. L'équation 2 est une équation du second degré pour d. Après un peu d'algèbre, on trouve :

$$(q_1 - q_2)d^2 - 2q_1Dd + q_1D^2 = 0 \qquad \text{(c'est la forme } ax^2 + bx + c = 0\text{)}$$

En remplaçant q_1 et q_2 par les valeurs données q et $3q$ ainsi qu'en simplifiant, on obtient :

$$(q - 3q)d^2 - 2qDd + qD^2 = 0$$

$$2d^2 + 2Dd - D^2 = 0$$

Les deux solutions pour d sont :

retour à la question ▲

$$d = \frac{-(2D) \pm \sqrt{(2D)^2 - 4 \times 2 \times (-D^2)}}{2 \times 2} = \frac{-2D \pm \sqrt{12D^2}}{4} = \frac{-1 \pm \sqrt{3}}{2} \times D$$

2 Solutions : $d_A = \frac{-1+\sqrt{3}}{2} \times 1\ m = \mathbf{0,3660 \ldots m}$ $\quad d_B = \frac{-1-\sqrt{3}}{2} \times 1\ \mathrm{m} = -1{,}3660 \ldots \mathrm{m}$

Puisqu'on a déterminé logiquement que la 3^e charge devait nécessairement se situer entre les deux première et que d est une distance depuis la charge q_1, on doit retenir la solution d_A = 0,366 m. On peut maintenant utiliser l'équation 1 pour déterminer la valeur de q_3 :

$$(1) \qquad q_3 = \frac{-d^2 q_2}{D^2} = \frac{-(0{,}366\ldots\ \mathrm{m})^2 \times 3q}{(1\ \mathrm{m})^2} = \mathbf{-0,402}\boldsymbol{q}$$

retour à la question ▲