

# Interactions fondamentales et notion de champ

## LE PROGRAMME

### 1. Interactions fondamentales et introduction à la notion de champ

Les interactions fondamentales sont des éléments essentiels de la physique car elles permettent comprendre l'univers qui nous entoure. Dans ce chapitre deux interactions sont étudiées. L'interaction gravitationnelle a déjà été abordé en classe de seconde. Elle est complétée dans ce chapitre par la notion de champ gravitationnel.

L'interaction électrostatique est mise en évidence par des expériences simples et la loi de Coulomb permet de modéliser l'expression de la force électrostatique. Le champ électrostatique engendré par une charge complète ce chapitre.

L'étude des forces et des champs vectoriels modélisant ces interactions permet de mettre en évidence une analogie entre la force gravitationnelle et électrostatique.

La notion de ligne de champ est abordée pour donner une illustration d'un champ de vecteurs gravitationnel ou électrostatique.

#### Notions abordées en seconde

Modélisation d'une action par une force, principe des actions réciproques (3<sup>e</sup> loi de Newton), caractéristiques d'une force. Modèle du point matériel. Utilisation des expressions vectorielles pour caractériser les forces suivantes : force d'interaction gravitationnelle, poids, force exercée par un support et par un fil.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Charge électrique, interaction électrostatique, influence électrostatique. Loi de Coulomb.  Force de gravitation et champ de gravitation. Force électrostatique et champ électrostatique.	Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique. Utiliser la loi de Coulomb. Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.  Utiliser les expressions vectorielles : – de la force de gravitation et du champ de gravitation ; – de la force électrostatique et du champ électrostatique. Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation. <b>Illustrer l'interaction électrostatique. Cartographier un champ électrostatique.</b>

## POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

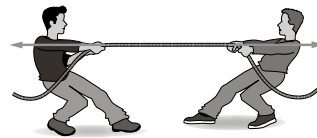
■ p. 176

### SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis la représentation des vecteurs forces modélisant une interaction appliquée à un système mécanique.

#### ► Exemple de réponse attendue

On peut voir sur le dessin que deux personnes tirent sur une corde. Ils sont donc en interaction modélisée par deux forces. La force du personnage de droite sur le personnage de gauche et inversement. Les vecteurs ont pour direction le long de la corde et sont orientés vers les personnes. On peut les représenter de la façon suivante.



#### ► En classe de 1<sup>re</sup> spécialité

L'élève, en début de 1<sup>re</sup> spécialité, doit maîtriser la représentation vectorielle, il doit savoir l'appliquer à un système mécanique simple. Cet outil mathématique a été utilisé durant la classe de seconde et notamment pour décrire une force et une vitesse.

## SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis le principe des actions réciproques (3<sup>e</sup> loi de Newton) lorsque deux corps sont en interaction à distance.

### ► Exemple de réponse attendu

La Lune et la Terre sont en interaction car d'après le principe des actions réciproques (3<sup>e</sup> loi de Newton), si la Lune exerce une action mécanique sur la Terre alors la Terre exerce une action mécanique sur la Lune. Ces actions sont modélisées par des forces qui ont la même direction, de sens opposé et de même valeur. Ainsi, dans ce cas les deux forces possèdent la même intensité.

### ► En classe de 1<sup>re</sup> spécialité

Toujours dans une logique spiralaire de l'enseignement de sciences physiques, la notion de force gravitationnelle est abordée de nouveau dans ce chapitre. Dans l'activité 1, on complète le modèle gravitationnel en introduisant les notions de champ liées aux interactions de ce type.

## ACTIVITÉS

### p. 178 ■ ACTIVITÉ 1

### Champ de gravitation terrestre

#### Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Dans cette activité les élèves découvrent une méthode de mesure extrêmement précise du champ de gravitation. On comprend ainsi que ce champ est susceptible de subir des variations dues à la composition interne de la Terre. La différence entre le champ de pesanteur et champ gravitationnel est mise en évidence à travers l'étude des différents documents.

#### ► Exploitation et analyse

1. On voit dans le document 2 que le vecteur champ de pesanteur et champ gravitationnel sont différents. En effet, du fait de la rotation de la Terre le vecteur champ de pesanteur n'est pas dirigé vers le centre de la Terre.

Mais cette différence est faible et n'intervient que pour des mesures demandant une grande précision. C'est pour cela qu'il est précisé que l'on peut en première approximation confondre les deux champs.

2. a. On voit dans le texte qu'il s'agit de  $N \cdot kg^{-1}$ .  
À noter que l'unité est normalement homogène à une accélération donc  $m \cdot s^{-2}$ .

b. D'après le document 3, on voit que l'altitude a une influence sur la valeur. Il s'agit en fait de la distance entre le centre de la Terre et le satellite qui effectue la mesure. Soit le rayon de la Terre et la hauteur à partir du sol.

Dans une moindre mesure et très faiblement la non homogénéité de la Terre intervient dans le champ de gravitation (voir document 4). En effet, la Terre n'a pas une masse répartie de façon homogène ce qui entraîne une variation de l'intensité du champ gravitationnel.

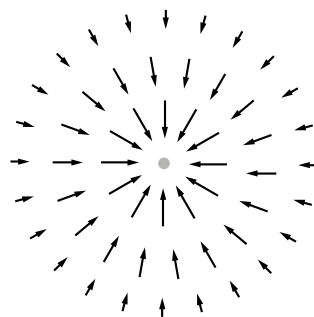
La latitude n'est pas un facteur intervenant dans l'intensité du champ de gravitation, mais elle influence le champ de pesanteur car cette valeur est prise aux environs du sol. Le satellite mesure le champ de gravitation et se place sur une orbite circulaire donc à une altitude égale au rayon de la Terre et la hauteur à partir du sol. La distance au centre reste identique. Ce qui n'est pas le cas pour le champ pesanteur dont la valeur est prise au niveau du sol et comme la Terre n'est pas parfaitement sphérique, car elle est aplatie au niveau des pôles, alors l'intensité du champ de pesanteur varie avec la latitude.

c. On peut négliger, en première approximation, le caractère non homogène de la Terre. En effet dans le texte on voit que la variation est de quelques  $mN \cdot kg^{-1}$ .

3. a. On appelle ce champ, un champ vectoriel car la valeur étudiée est un vecteur. C'est un champ car il existe en tout point de l'espace à proximité de la Terre un vecteur champ de gravitation.

b. La direction est radiale et le sens dirigé vers le centre de la Terre.

### ► Synthèse



### p. 179 ■ ACTIVITÉ 2

### Interaction et influence électrostatiques..... TP

#### Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité expérimentale permet d'aborder l'électrostatique par des expériences simples et

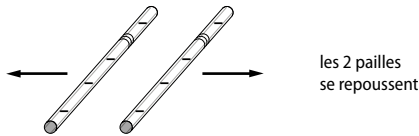
assez spectaculaires. En se servant du diagramme de préférences de transfert des électrons, on peut aisément, les interpréter. Ces expériences aident aussi à définir quelques notions comme : l'électrisation d'un objet, l'interaction électrostatique et le phénomène influence électrostatique.

### ›Expérimentation et analyse

1. a. On observe que les deux pailles se repoussent. On observe que le bâton en plexiglas et la paille s'attirent.

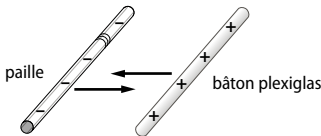
b. On électrise la paille avec des charges négatives en frottant avec de la laine. Les électrons sont arrachés au tissu en laine, les pailles se chargent négativement. Pour connaître le signe des objets frottés, on utilise le diagramme de préférence du transfert d'électrons du document 1.

Schéma des deux pailles qui se repoussent.



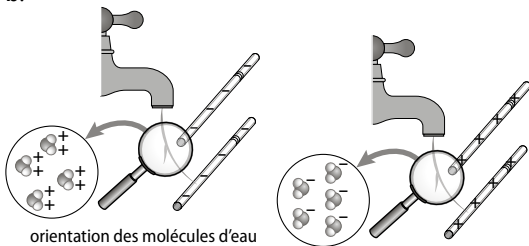
On électrise un bâton en plexiglas toujours avec le même tissu en laine. Dans ce cas le plexiglas va se charger positivement. En effet, on voit sur le diagramme de préférence du transfert d'électrons que le plexiglas est placé bien plus haut que la laine. La laine va donc arracher des électrons au plexiglas.

Les deux étant de signe différent, ils vont s'attirer. Schéma de la paille et du bâton de plexiglas.



2. a. On observe que le filet d'eau est dévié dans les deux cas vers la paille ou le bâton en plexiglas.

b.



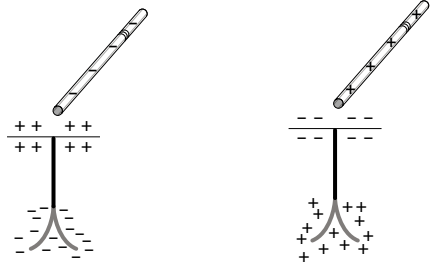
Cas de la paille chargée négativement

Cas du bâton du plexiglas chargé positivement

3. a. On observe qu'une paille chargée approchée près de l'électroscope engendre un écartement des

feuilles conductrices. Il en est de même lorsqu'un bâton de plexiglas est approché.

b.



Cas de la paille chargée

Cas du bâton de plexiglas chargé

### ›Synthèse

**Électrisation** : l'électrisation d'un objet consiste à charger électriquement un objet. On peut électriser un objet par frottement comme dans ce TP ou par influence comme dans le cas de l'électroscope.

**Interaction électrostatique** : il y a interaction électrostatique entre deux corps chargés électriquement. (Interaction entre les pailles et entre une paille et le bâton en plexiglas.)

**Influence électrostatique** : lorsque l'on approche un objet chargé près d'un conducteur, on modifie la répartition des charges à la surface de ce dernier. L'influence sur le conducteur s'effectue sans qu'il y ait contact.

p. 180 ■ **ACTIVITÉ 3**

### Cartographier un champ électrostatique .. TP

#### Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

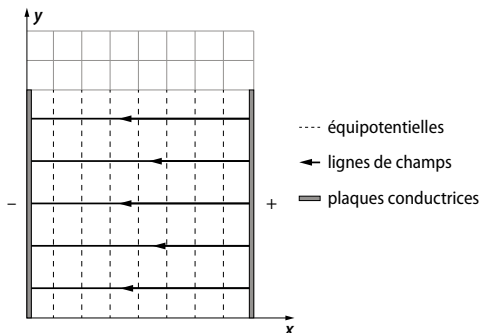
Cette activité consiste à tracer des lignes de champ électrostatique dans une cuve rectangulaire entre deux plaques parallèles (modèle du condensateur). On indique aux élèves que les lignes de champ sont perpendiculaires aux équipotentielles, il peut s'avérer indispensable de réexpliquer cette notion d'équipotentielle.

Pour faciliter la mesure de la tension, on remplit la cuve d'une solution de sulfate de cuivre. Il peut être intéressant de fournir aux élèves une feuille représentant le quadrillage du fond de la cuve.

#### ›Analyse et mesure

1. a. On sait qu'un faisceau d'électrons est chargé de particules négatives. La déviation du faisceau permet de connaître les charges accumulées sur les armatures. Si le faisceau est dévié vers une plaque, cela signifie que cette plaque est chargée positivement et ainsi l'autre sera négative.

b. et c. Les lignes de champ sont orientées des charges positives vers les charges négatives.



d. La valeur du champ électrostatique est de valeur constante entre les armatures.

### ➤ Synthèse

3. Le champ peut être qualifié d'uniforme car les intensités du champ sont constantes en valeur, de plus le sens et la direction sont identiques en tout point situés entre les deux armatures.

p. 181 ■ **ACTIVITÉ 4**

## Charges électriques et interaction électrostatique..... TP

### Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Dans cette activité les élèves doivent interpréter une expérience d'électrostatique avec à leur disposition quelques documents.

Cette expérience spectaculaire est réalisée à l'aide du générateur de Van de Graff.

Ce générateur charge électriquement une demi-sphère avec des charges positives. Les électrons sont arrachés à une courroie animée d'un mouvement par un moteur électrique. Les électrons sont transportés par la courroie, de la demi-sphère vers la petite sphère. La quantité de charges accumulées peut être très élevée. Les électrons sont arrachés à la courroie par friction.

La personne touche la demi-sphère chargée positivement, les charges transitent d'une extrémité à une autre à la surface du corps. Les charges négatives vont se déplacer jusqu'à la main tandis que les charges positives vont se situer aux extrémités inverses dont les cheveux en font partie. L'expérience de l'électroscope illustre ce phénomène.

Tous les cheveux sont chargés positivement, ils vont donc s'écarter pour s'éloigner le plus possible les uns des autres, en se dressant les uns par rapport aux autres comme dans le cas des feuilles mobiles de l'électroscope.

Si la demi-sphère est touchée par la petite sphère alors les cheveux perdent leur électrisation et donc retombent.

## EXERCICES

### Vérifier l'essentiel

p. 186

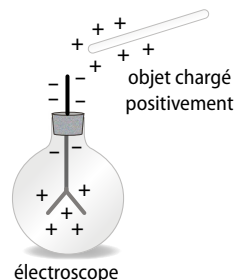
- 1 Réponse A et B. Un proton possède une charge élémentaire et positive.
- 2 Réponse B. l'interaction peut être attractive ou répulsive. Cela dépend des charges qui s'opposent.
- 3 Réponse B. Les charges se repoussent et sont soumises à une interaction qui se modélise par des forces de même sens.
- 4 Réponse C.
- 5 Réponse A.
- 6 Réponse A, B et C.
- 7 Réponse C.
- 8 Réponse A.

### Acquérir les notions

9 Le tissu en laine arrache des électrons au bâton en verre, le bâton en verre va donc présenter un défaut de charge positive. Il est donc chargé positivement.

Le bâton en plastique arrache des électrons au tissu en laine, le bâton en plastique va donc présenter un défaut de charge négatif. Il est donc chargé négativement.

10 1.



2. La répulsion est moins importante car l'objet approché n'est plus chargé, car lié à la Terre, et donc les charges négatives vont se déplacer pour compenser les charges positives présentes sur les feuilles conductrices mobiles. Les feuilles conductrices mobiles n'étant plus chargées, elles ne vont plus se repousser et vont ainsi retrouver leur position initiale.

11 La règle en plastique est chargée négativement, cela signifie qu'elle possède un excès d'électrons. Lorsque la règle s'approche des petits morceaux de papier, ceux-ci vont s'électriser par influence.

Sur les petits morceaux de papier les charges négatives vont se déplacer vers l'extrémité opposée à

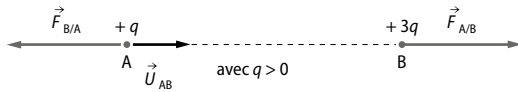
l'extrémité placée en regard de la règle. Ce déplacement de charges négatives entraîne un défaut de charge positive à l'extrémité proche de la règle. Les charges électriques étant de signe opposé, le morceau de papier est donc attiré par la règle.

**12** 1. Il s'agit d'une interaction électrostatique.

2. L'expression de la loi de Coulomb est :

$$F = k \cdot \frac{q^2}{d^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{(1,0 \times 10^{-6})^2}{(5,0 \times 10^{-2})^2} = 3,6 \text{ N}$$

**13**



1. Les particules sont toutes les deux chargées positivement, elles vont donc se repousser.

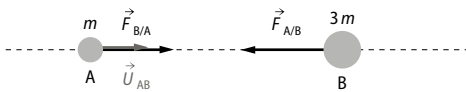
2. La loi de Coulomb s'écrit :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = k \cdot \frac{q \times (3q)}{AB^2} \vec{u}_{AB} = 3k \cdot \frac{q^2}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

3. Voir sur le schéma.

4. Les deux charges électriques étant de même signes les deux particules vont se repousser. On obtient les mêmes relation et représentation vectorielles.

**14**



1. Il s'agit d'une interaction gravitationnelle, les deux masses vont s'attirer.

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \cdot \frac{m \times (3m)}{AB^2} \vec{u}_{AB} = -3G \cdot \frac{m^2}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

3. Voir schéma.

4. Les analogies sont liées à l'expression des forces de gravitation et la loi de Coulomb qui sont presque identiques. On peut identifier  $k$  et  $G$  comme constante,  $q$  et  $m$  comme paramètres responsables de l'interaction.

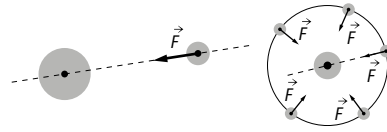
De plus les vecteurs sont portés par la même droite d'action.

**15** 1. La Lune est dans le champ de gravitation de la Terre car elle est attirée par celle-ci.

2. a.  $F = G \cdot m_L \cdot \frac{M_T}{d^2}$

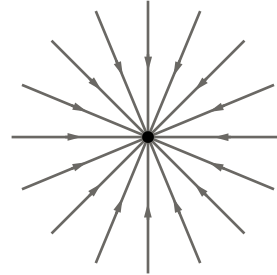
b.

$$F = \frac{(6,67 \times 10^{-11} \times 7,35 \times 10^{22} \times 5,98 \times 10^{24})}{(3,84 \times 10^5)^2} = 1,99 \times 10^{26} \text{ N}$$



c. Le champ de gravitation terrestre est un champ vectoriel centripète.

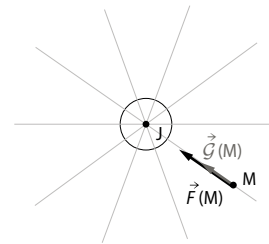
d.



**16** 1. Les vecteurs champs de gravitation sont orientés vers le centre de Jupiter donc le sens des lignes de champ le sont aussi.

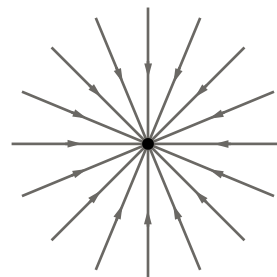
2. Voir construction sur le schéma du vecteur  $\vec{g}(M)$ . Le vecteur  $\vec{g}(M)$  est dans le même sens et est tangent à la ligne de champ.

3. Comme  $\vec{F} = m \cdot \vec{g}$  alors  $\vec{F}$  est dans le même sens et direction du vecteur  $\vec{g}$  mais de norme différente.



**17** On voit sur le schéma que les vecteurs  $\vec{g}_0$  possèdent une direction, un sens et une norme identique. Le champ de vecteur est donc dit uniforme.

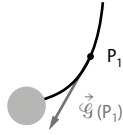
**18** 1. a.



b. Les lignes de champ sont radiales et elles sont dirigées vers le centre de la masse  $m_1$  donc centripète. Voir la représentation.

2. La masse  $m_2$  engendre elle aussi un champ de gravitation. Ainsi le vecteur champ de gravitation en un point de l'espace est la superposition des deux champs de gravitation. L'allure des lignes de champ sont donc différentes car elles sont issues de la composition de deux sources de champ gravitationnel.

3. et 4. Voir la représentation ci-contre. On trace le vecteur  $\vec{g}(P_1)$  tangent à la ligne de champ et dans le même sens que les lignes de champ indiquées.



5. Le vecteur  $\vec{g}(P_1)$  n'est pas dirigé vers le centre de l'astre comme indiqué sur la représentation ci-dessus.

En effet les lignes de champ n'étant plus radiales à cause de l'influence du champ gravitationnel engendré par la masse  $m_2$ , les vecteurs champ de gravitation ne sont plus dirigés vers le centre de l'astre.

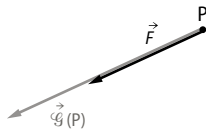
19 On mesure la longueur du vecteur sur le schéma, on trouve : 3,25 cm.

On trouve ainsi une force :  $3,25 \times 100 = 325 \text{ N}$ .

D'après la relation :  $\vec{F} = m \cdot \vec{g}$  on en déduit la valeur du vecteur  $\vec{g}$  telle que  $g = \frac{F}{m} = \frac{325}{120} = 2,71 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

En utilisant l'échelle indiquée, on trouve que :

$2,71 \times 2 = 5,4 \text{ cm}$ . Puis on trace le vecteur  $\vec{g}(P)$  dans le même sens et direction que le vecteur  $\vec{F}$ .

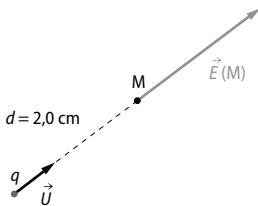


20 1. La relation d'un vecteur champ électrostatique en un point M engendré par une charge ponctuelle  $q$  est :

$$\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{u} = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{9,6 \times 10^{-18}}{(2,0 \times 10^{-2})^2} \vec{u} = 2,2 \times 10^{-4} \vec{u}$$

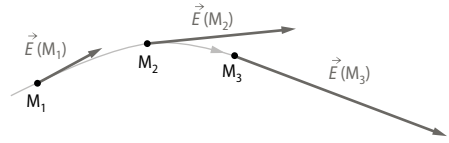
2. La valeur est de  $2,2 \times 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .

3. La longueur du vecteur d'après l'échelle donnée est de 2,2 cm. La représentation est donnée ci-dessous.



21 1. et 2. On trace les vecteurs champ électrostatique en les plaçant tangent à la ligne de champ, dans le sens de celle-ci. La longueur est trouvée en utilisant l'échelle donnée.

$E(M_1) \rightarrow 1 \text{ cm}$  ;  $E(M_2) \rightarrow 2 \text{ cm}$  et  $E(M_3) \rightarrow 3 \text{ cm}$



22 1. L'orientation des lignes de champ montrent que celles-ci sont orientées partant des charges électriques. Ce qui montre que les charges sont positives.

2. Deux charges positives se repoussent, ce qui influence les lignes de champ donnant une figure où les lignes de champ se repoussent.

23 1. On sait que  $\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{u}$  or d'après la figure le vecteur  $\vec{E}$  est orienté vers la charge électrique  $q$ . Ce qui montre que la charge est négative.

2. On mesure une distance  $d = 4,5 \text{ cm}$ .

3. On mesure 1,9 cm pour la longueur du vecteur  $\vec{E}$ , donc la valeur du champ est  $1,9 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .

4. On en déduit de la relation  $E = k \cdot \frac{q}{d^2}$  la relation

$$\text{de la charge électrique : } q = \frac{Ed^2}{k}$$

$$\text{Ainsi : } q = \frac{1,9 \times (4,5 \times 10^{-2})^2}{9,0 \times 10^9} = 4,2 \times 10^{-13} \text{ C}$$

24 1. On observe que tous les vecteurs ont mêmes sens, direction et valeur. C'est ce qui définit qu'un champ  $\vec{E}$  est uniforme car il est partout identique.

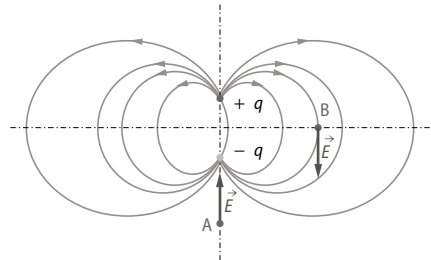
2. Un proton de charge  $q$  dans un champ électrostatique subit une force électrostatique qui s'écrit :

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$$

Son intensité sera donc de :

$$F_e = 1,6 \times 10^{-19} \times 1,0 \times 10^2 = 1,6 \times 10^{-17} \text{ N}$$

25 En tout point la direction du vecteur champ électrostatique est tangente aux lignes de champ. Son sens suit celui de la ligne de champ.



27 Pour montrer si l'ensemble des lignes de champ sont correctes prendre quelques vecteurs bien choisis. On voit sur la figure des lignes de champ avec :  $d_1 = 2,8 \text{ cm}$  et  $d_2 = 1,0 \text{ cm}$

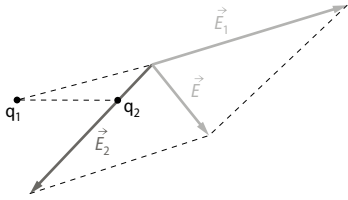
$$E_1 = k \cdot \frac{q_1}{d_1^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{9,0 \times 10^{-12}}{(2,8 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 1,0 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \rightarrow 4 \text{ cm}$$

$$E_2 = k \cdot \frac{q_2}{d_2^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-12}}{(1,0 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 9,0 \times 10^{12} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \rightarrow 3,6 \text{ cm}$$

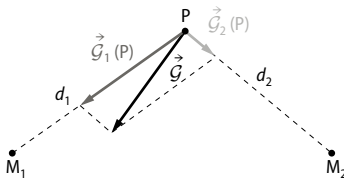
On prend une échelle de  $250 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \rightarrow 1 \text{ cm}$ .



On voit que le vecteur construit ci-dessus correspond bien à la situation des lignes de champ présentes sur la représentation. Il faudrait vérifier avec plusieurs constructions vectorielles.

**29**

1.



2.  $d_1 = 4,4 \times 10^8 \text{ m}$  et  $d_2 = 4,0 \times 10^8 \text{ m}$ .

3. On en déduit graphiquement les valeurs du champ de gravitation :

$$G_1 = 2,4 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} ;$$

$$G_2 = 8 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

4. Pour connaître les masses on utilise la relation :

$$G_1 = G \cdot \frac{M_1}{d_1^2}.$$

$$\text{On a donc } M_1 = \frac{G_1 \times d_1^2}{G} = \frac{2,4 \times 10^{-2} \times (4,4 \times 10^8)^2}{6,67 \times 10^{-11}}$$

$$= 7,0 \times 10^{25} \text{ kg}.$$

$$M_2 = \frac{G_2 \times d_2^2}{G} = \frac{0,8 \times 10^{-2} \times (4,0 \times 10^8)^2}{6,67 \times 10^{-11}}$$

$$= 1,9 \times 10^{25} \text{ kg}.$$

**30** 1.

$$F_{\text{grav}} = G \frac{m^2}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{(10 \times 10^{-3})^2}{(1,0 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 6,7 \times 10^{-11} \text{ N}$$

$$2. F_{\text{élec}} = k \frac{q^2}{d^2}$$

3. a. Il faut :  $F_{\text{élec}} = F_{\text{grav}}$

$$\text{Et donc : } G \frac{m^2}{d^2} = k \frac{q^2}{d^2} \text{ donc } q^2 = G \frac{m^2}{k}$$

$$\text{ainsi } q = \sqrt{G \frac{m^2}{k}} = m \sqrt{\frac{G}{k}}$$

$$Q = 1,0 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11}}{9,0 \times 10^9}} = 8,6 \times 10^{-13} \text{ C}.$$

b.  $q = 5,4 \times 10^6 \times e$ . Cette charge ne représente qu'une infime partie d'une mole d'électrons.

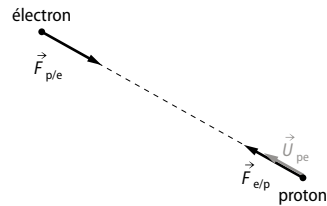
c. L'interaction électrique est prédominante à notre échelle.

**31** 1. Un atome d'hydrogène est composé d'un proton et d'un électron.

2. On peut citer :

- l'interaction gravitationnelle entre l'électron et le proton ;
- l'interaction gravitationnelle entre l'électron et la Terre ainsi que le proton et la Terre ;
- l'interaction électrostatique entre le proton et l'électron.

3. La loi de Coulomb s'écrit :



$$\vec{F}_{e/p} = -\vec{F}_{p/e} = k \times \frac{e^2}{R^2} \vec{U}_{pe}$$

Application numérique :

$$F_{e/p} = F_{p/e} = k \times \frac{e^2}{R^2}$$

$$F_{e/p} = F_{p/e} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(53 \times 10^{-12})^2} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

4. De nouveau, on peut écrire que :

$$\vec{F}'_{e/p} = -\vec{F}'_{p/e} = G \times \frac{m_e \times m_p}{R^2} \vec{U}_{pe}$$

L'intensité des forces s'écrit alors :

$$F'_{e/p} = F'_{p/e} = G \frac{m_e \times m_p}{R^2}$$

$$= 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{9,11 \times 10^{-31} \times 1,67 \times 10^{-27}}{(53 \times 10^{-12})^2}$$

$$= 3,6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

5. Poids de l'électron :  $P_e = m_e \times g = 9,11 \times 10^{-31} \times 9,8 = 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$ .

Poids du proton :  $P_p = m_p \times g = 1,67 \times 10^{-27} \times 9,8 = 1,6 \times 10^{-26} \text{ N}$ .

6. Les interactions gravitationnelles sont très inférieures à l'interaction électrostatique.

### 32 Spectre électrostatique

Une forte tension est appliquée entre deux plaques métalliques plongées dans un liquide isolant, que l'on a saupoudré de corps légers, comme des graines. On observe alors une certaine répartition de ces corps légers :

1. Que semble décrire cette répartition ?
2. Représenter l'allure des lignes de champ correspondant à cette situation.
3. Peut-on, d'après la photographie, déterminer l'orientation des lignes de champ ?

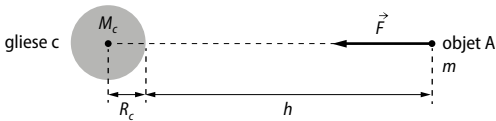
1. Les graines s'orientent selon les lignes de champ. Elles décrivent donc les lignes de champ entre les armatures placées en regard l'une de l'autre.

2. Les lignes de champ peuvent être représentées ainsi :



3. Sans la connaissance du signe des charges accumulées sur les armatures, on ne peut pas connaître le sens des lignes de champ.

### 33 1.



$$2. F = G \frac{M_c \times m}{(R_c + h)^2}$$

$$3. \vec{g}_c = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$a. g_c = \frac{F}{m} = \frac{G \frac{M_c \times m}{R_c^2}}{m} = G \frac{M_c}{R_c^2}$$

$$b. g_c = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{3,0 \times 10^{25}}{(9,6 \times 10^6)^2} = 22 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

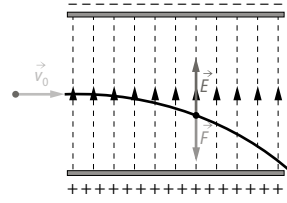
$$c. \frac{g_c}{g_0} = \frac{22}{9,8} = 2,2 : \text{ le champ de gravitation de Gliese c est un peu plus de 2 fois plus grand que le champ de pesanteur de la Terre.}$$

Le champ de pesanteur peut être habitable car le champ de gravitation de Gliese c n'est pas trop élevé.

34 1. Le vecteur champ électrostatique est tangent aux lignes de champ et dans le même sens.

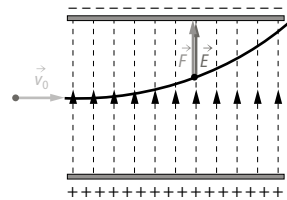
2. Les lignes de champ sont orientées des charges positives vers les charges négatives.

### 3. a. et b.



$$c. F = q \times E = e \times E = 1,6 \times 10^{-19} \times 2,0 \times 10^3 = 3,2 \times 10^{-16} \text{ N.}$$

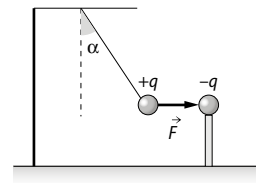
4. Pour un proton : l'intensité de la force est identique mais la trajectoire est différente car la charge du proton est positive.



35 1. L'expression modélisant l'interaction électrostatique entre les deux sphères s'écrit :

$$F = k \cdot \frac{q^2}{d^2}$$

2.



D'après la relation du texte, on peut écrire que :

$$m \cdot g \cdot \tan \alpha = k \cdot \frac{q^2}{d^2} \text{ donc : } q^2 = \frac{d^2 \cdot m \cdot g \cdot \tan \alpha}{k}$$

Ainsi la valeur de la charge électrique portée est :

$$q = d \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot \tan \alpha}{k}}$$

$$= 10 \times 10^{-2} \times \sqrt{\frac{1,0 \times 10^{-3} \times 9,8 \times \tan(30)}{9,0 \times 10^9}}$$

$$= 7,9 \times 10^{-8} \text{ C.}$$

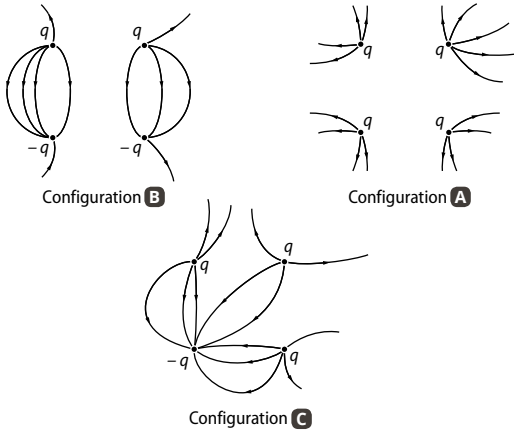
36 1. La représentation des lignes de champ électrostatique A correspond à la configuration (2) car les charges sont toutes positives et se repoussent.

La représentation des lignes de champ électrostatique B correspond à la configuration (1) car deux charges sont positives et deux autres sont négatives.

La représentation des lignes de champ électrostatique C correspond à la configuration (3) car trois charges sont positives et une charge est négative.

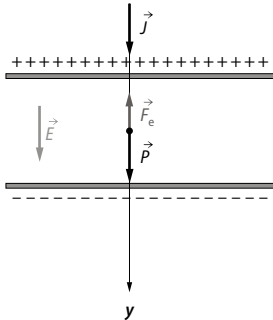


2. a. et b.



**37** 1. L'armature supérieure est chargée positivement car elle doit permettre d'attirer la goutte chargée négativement.

2. a. et b.



$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$  avec  $q < 0$  et

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} = \rho \cdot V \cdot \vec{g} = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \vec{g} = \frac{4}{3} \pi \frac{D^3}{8} \rho \vec{g} = \frac{\pi}{6} D^3 \rho \vec{g}$$

D'après le principe d'inertie  $\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ .

$$\text{Donc } \vec{F}_e + \vec{P} = \vec{0}$$

$$-q \cdot \vec{E} + m \cdot \vec{g} = \vec{0}$$

Ainsi :  $-q \cdot \vec{E} + \frac{\pi}{6} D^3 \rho \vec{g} = \vec{0}$  en projetant sur l'axe  $y$ , on a :

$$-q \cdot E + \frac{\pi}{6} D^3 \rho g = 0. \text{ Donc } q = \frac{\pi D^3 \rho g}{6 E}$$

**b.**  $q = \frac{\pi}{6} \times \frac{(4,1 \times 10^{-6})^3 \times 900 \times 9,8}{2,0 \times 10^5} = 1,6 \times 10^{-18} \text{ C.}$

Si on effectue  $\frac{q}{e} \approx 10$  donc il y a 10 charges électriques élémentaires dans la gouttelette.

**38** 1.  $a = 2r_{Cl^-} + 2r_{Na^+} = 5,6 \times 10^2 \text{ pm.}$

2. a. En utilisant le schéma ci-dessous, la distance entre ions chlorure les plus proches correspond à la demi-diagonale du carré.

Soit  $d_{Cl^-/Cl^-} = \frac{a\sqrt{2}}{2} = 4,0 \times 10^2 \text{ pm.}$

b. L'interaction est répulsive.

c. La charge portée par les ions chlorure est  $-e$ , on a :

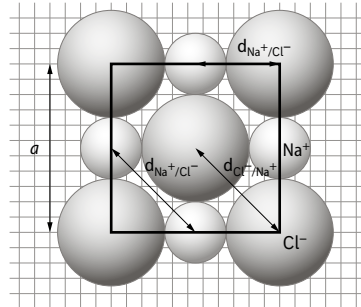
$$F_{Cl^-/Cl^-} = k \frac{|-e| \times |-e|}{(d_{Cl^-/Cl^-})^2} = 1,5 \times 10^{-9} \text{ N.}$$

Pour les deux ions sodium  $Na^+$ , la distance est  $d_{Na^+/Na^+} = d_{Cl^-/Cl^-}$ . La force a donc la même intensité. La distance entre un ion chlorure et un ion sodium

les plus proches est :  $d_{Na^+/Cl^-} = \frac{a}{2}$ .

$$F_{Na^+/Cl^-} = k \frac{|e| \times |e|}{\left(\frac{a}{2}\right)^2} = 4k \frac{e^2}{a^2} = 2,9 \times 10^{-9} \text{ N.}$$

Ce sont les interactions électriques attractives entre ions de charges opposées, qui sont plus intenses que les interactions répulsives entre ions de charges de même signe.



**39** Éléments pour préparer l'oral.

On utilise l'animation Edumedia.

Durant l'oral, on peut se servir de l'animation pour étayer les différentes affirmations. Notamment la représentation du vecteur champ électrostatique résultant de la superposition des deux champs engendrés par les charges. On peut se placer en plusieurs points de l'espace afin de justifier les lignes de champ. L'animation traite d'un champ électrostatique généré par deux charges de signe différent mais ayant la même valeur. On souhaite ainsi comprendre l'allure de ces lignes de champ généré par ce dipôle.

Le champ électrostatique est représenté en un point par un vecteur  $\vec{E}$ .

Chaque charge électrique produit un champ électrostatique. Le vecteur  $\vec{E}$  résultant est la superposition des champs créés par les deux charges électriques.

L'ensemble de tous ces vecteurs décrivent les lignes de champ en imposant le sens et la direction. Les vecteurs champ sont tangents aux lignes de champ et le sens est imposé par le sens de ce vecteur.

En effectuant une simulation sur l'animation, on voit que plus le point est proche d'une des charges

plus la composante du vecteur engendrée par cette charge est importante. Le vecteur  $\vec{E}$  devient radial. Plus le point s'éloigne des charges plus la direction et le sens changent, ce qui donne une allure particulière à l'ensemble de ces lignes de champ. La représentation visualisée s'éloigne de la configuration radiale avec une seule charge électrique.

**40** Durant un orage, les courants de l'air produisent dans les nuages la collision entre les gouttelettes d'eau et les cristaux de glace qui s'y trouvent. Lors de ces chocs les gouttelettes se chargent négativement. Les gouttelettes les plus massives et chargées négativement vont aller en bas du nuage en repoussant les cristaux plus légers chargés positivement en haut de celui-ci.

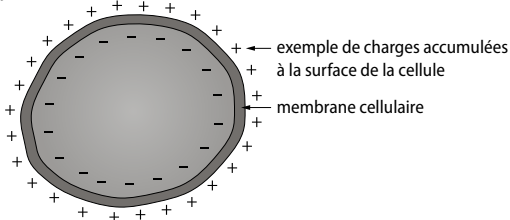
Le sol se charge positivement par influence électrostatique des gouttelettes négatives situées au bas du nuage. Il se crée un champ électrostatique qui augmente lorsque les charges s'accumulent de plus en plus en bas du nuage.

Lorsque le champ électrostatique devient trop important, l'air devient conducteur et les charges accumulées en bas du nuage vont rejoindre les charges positives au sol. Ce phénomène est celui de l'éclair ou foudre.

À noter qu'il existe des éclairs entre les couches de signe opposés dans les nuages, ce sont les éclairs les plus fréquentes lors d'un orage.

#### 41 >Analyse

1.



2. On sait que la densité surfacique de charge électrique est de  $1,2 \times 10^{-5} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$ , à la surface extérieure de la cellule. On considère la cellule comme une sphère.

Donc la surface extérieure de cette sphère est :

$$4\pi \cdot R^2 = 4\pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot D^2 = 1,3 \times 10^{-9} \text{ m}^2.$$

Il y a donc :  $q = 1,2 \times 10^{-5} \times 1,3 \times 10^{-9} = 1,5 \times 10^{-14} \text{ C}$ .

3. D'après le document 2, on sait que

$$E = \frac{U}{d} = \frac{70 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-9}} = 7,0 \times 10^3 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1} \text{ avec } d = 10 \text{ nm}$$

correspondant à l'épaisseur de la membrane de la cellule.

#### >Synthèse

Les échanges ioniques entre le milieu intérieur et extérieur de la cellule donnent un bilan de charges non équilibré entre les deux milieux. Ainsi, on trouve un excès de charges positives dû à des ions positifs présents aux alentours de la membrane extérieure et un excès de charges négatives portées par les ions négatifs (ce ne sont pas des électrons) près de la paroi interne.

Il se crée entre les deux parois de la membrane un champ électrostatique intense. La valeur est très élevée, supérieure au champ disruptif de l'air.

Cette membrane est donc résistante car elle admet une intensité presque deux fois plus élevée que le champ disruptif de l'air ( $7\,000 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1} > 3\,600 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ ) et cela montre aussi qu'il existe une accumulation importante de charges sur les parois.

**42** L'activité est composée d'un document montrant l'image d'un pistolet à peinture qui ionise une grande partie des particules de peinture pulvérisées. Le support est mis à la Terre afin que celui-ci se charge positivement par influence électrostatique. Ainsi, les particules de peinture chargées négativement vont se diriger vers les charges positives. Les particules sont « guidées » par l'interaction électrostatique entre les particules de peinture et le support chargé. Peu de particules peinture ne vont pas parvenir jusqu'au support, il y a donc peu d'éclaboussure.

#### 43 >Démarche Experte

Pour résoudre ce problème, il faut effectuer un schéma de la Terre et la Lune en respectant une échelle.

Ensuite il faut tracer quelques vecteurs champ de gravitation afin de vérifier que le sens et la direction des lignes de champ soient corrects par rapport aux quelques vecteurs tracés.

Les points situés loin de la Lune et proche de la Terre sont très faiblement influencés par le champ de gravitation de la Lune. C'est pourquoi l'aspect des lignes de champ est classique : radiales et dirigées vers le centre de la Terre. Ce qui est plus remarquable, ce sont les lignes de champ proche de la Lune. C'est proche de la Lune que l'on doit visualiser les vecteurs champ de gravitation.

Pour cela traçons quelques vecteurs pour comprendre.

Soit la représentation avec l'échelle de construction suivante :

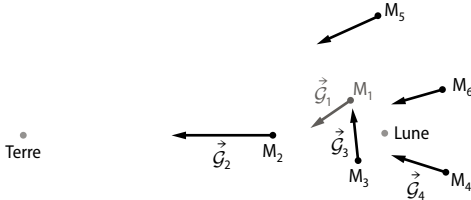
$$2 \text{ cm} \quad 1,0 \times 10^8 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} \quad 1,0 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

On place sur un schéma la Terre et la Lune avec l'échelle choisie, puis on calcule les différents vecteurs.

On peut utiliser un tableur pour s'aider à faire les nombreux calculs mais aussi d'un programme en Python. On obtient les différents vecteurs champ gravitationnel et on observe notamment pour les vecteurs proches de la Lune que la direction et leur sens sont compatibles avec les lignes de champ tracées sur l'animation.

Exemple de représentation de quelques vecteurs :



### ► Démarche avancée

La démarche avancée suit les mêmes étapes que la démarche experte, voir schéma ci-dessus.

1. La représentation de la situation avec une échelle adaptée de la position de la Lune et de la Terre.

2. Le tracé de quelques vecteurs correctement choisis, voir schéma ci-dessus, permet de confirmer que les lignes de champ sont correctes.

3. Étapes :

- on trace la position de la Lune et de la Terre avec une échelle adaptée ;
- on utilise la relation du champ engendré par une masse pour calculer l'intensité du champ gravitationnel produit par la Lune et la Terre en un point de l'espace ;
- on superpose les champs gravitationnels terrestre et lunaire. Pour construire le vecteur résultant, on effectue une construction vectorielle avec la somme des deux vecteurs ;
- on fait attention à ce que les lignes de champ soient tangentes à chaque vecteur construit ;
- on vérifie que chaque vecteur peut correspondre à une ligne de champ ;
- on effectue la vérification avec plusieurs vecteurs bien choisis.

**44** 1. Pour mesurer précisément, on effectue le lancer du pendule avec un angle inférieur à 20° par rapport à la position d'équilibre du pendule. On attend que l'oscillation s'installe, puis on se met à compter plusieurs oscillations.

On mesure la durée de 10 oscillations ou plus afin de diminuer l'incertitude de la mesure sur une période puis on divise par 10 ou plus pour avoir la durée d'une période.

2. La mesure s'effectuant avec un mètre, l'incertitude est d'un millimètre.

3. Effectuer plusieurs mesures permet de diminuer l'incertitude sur la mesure.

$$4. T = 2,005 \text{ s et } U(X) = \frac{S_x}{\sqrt{N}} = \frac{0,0217}{\sqrt{10}} = 0,007 \text{ s, ainsi}$$

le résultat vaut  $T = 2,005 \pm 0,007 \text{ s}$ .

avec comme incertitude-type 0,007 s.

$$5. g = 4\pi^2 \frac{\ell}{T^2} = 4\pi^2 \frac{1,00}{2,005^2} = 9,77 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

La tâche laissée à l'ordinateur permet la répétition des calculs. On peut aussi afficher une cartographie des vecteurs en utilisant un langage de programmation. Voici un exemple de solution en python.

```
from math import *
from matplotlib import pyplot

#Limite du graphique en Megamètre
Xmax=600
Xmin=0
Ymax=100

# Origine des astres
# Position de la Terre dans le graphe
XorigineTerre = Xmax/5
YorigineTerre = Ymax/2

# Position de la Lune
XorigineLune = XorigineTerre +380
YorigineLune = YorigineTerre

# Nombre de vecteurs
echelleX=int((Xmax-Xmin)/20)
echelleY=int(Ymax/20)

#Choix de l'échelle des vecteurs
gravitation
N=float(input(«échelle du vecteur ---->
«))

#Caractéristiques du graphe
pyplot.title("Champ de vecteurs")
pyplot.xlabel("X (Mm)")
pyplot.ylabel("Y (Mm)")
pyplot.axis([Xmin,Xmax,0,Ymax])
pyplot.text(XorigineTerre ,YorigineTerre
,"Terre", fontsize=15,color='r')
pyplot.text(XorigineLune ,YorigineLune
,"Lune", fontsize=15,color='b')

# Nombre de vecteurs
echelleX=int((Xmax-Xmin)/20)
echelleY=int(Ymax/20)

# paramètres
G=6.67e-11
MasseTerre = 5.972e24
MasseLune =7.36e22

for X1 in range(0,Xmax,echelleX):
    for Y1 in range(0,Ymax,echelleY):
        # cas limite origine de la Terre
        if (((X1-XorigineTerre)==0 and
        (Y1-YorigineTerre)==0)):
            XT=0
            YT=0
```

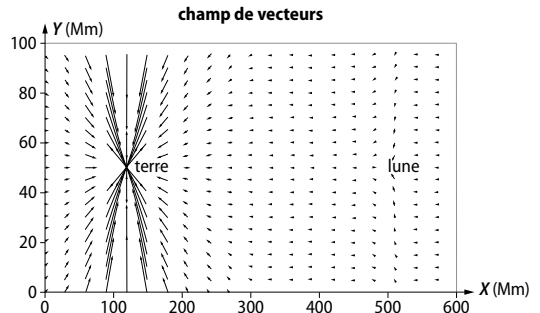
```

else:
# Calcul des vecteurs
gravitations dû à la Terre en
coordonnées cartésiennes
  XT=-1e-12*G*MasseTerre*(X1-
XorigineTerre)/
  (((X1-XorigineTerre)**2+(Y1-
YorigineTerre)**2)**(3/2))
  YT=-1e-12*G*MasseTerre*(Y1-
YorigineTerre)/
  (((X1-XorigineTerre)**2+(Y1-
YorigineTerre)**2)**(3/2))
# cas limite origine de la Lune
if (((X1-XorigineLune)==0 and
(Y1-YorigineLune)==0)):
  XL=0
  YL=0
#Calcul des vecteurs gravitations
dû à la Terre en coordonnées
cartésiennes
else:
  XL=-1e-12*G*MasseLune*(X1-
XorigineLune)/
  (((X1-XorigineLune)**2+(Y1-
YorigineLune)**2)**(3/2))
  YL=-1e-12*G*MasseLune*(Y1-
YorigineLune)/
  (((X1-XorigineLune)**2+(Y1-
YorigineLune)**2)**(3/2))
#superposition des deux champs
X=XT+XL
Y=YT+YL
test=sqrt(X**2+Y**2) # Calcule
la norme du vecteur
if (N*test<60): #limite les
vecteurs trop grands
# trace une flèche représentant
le vecteur champ
  pyplot.
  arrow(X1,Y1,N*X,N*Y,head_
width=1,head_length
=1.5,length_includes_head=True)
pyplot.show()

```

Ce programme simple permet de simuler un champ de vecteurs. Il est à noter que plusieurs paramètres sont réglables comme les limites du graphe, le

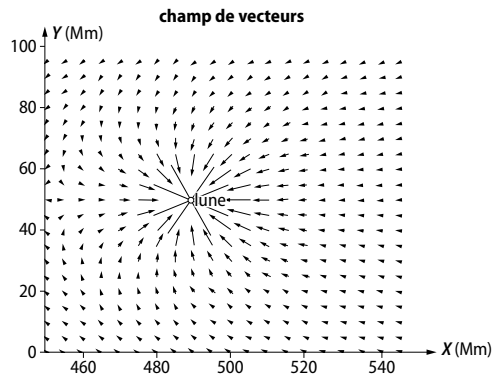
nombre de vecteurs affichés, l'échelle des vecteurs et la limitation de la taille affichées des vecteurs. Ainsi pour résoudre le problème de l'exercice, en utilisant une échelle adaptée, on obtient le graphe suivant.



Le graphe montre que l'intensité du champ Terrestre est beaucoup plus importante que l'intensité du champ engendré par la Lune. Les vecteurs autour de la Terre sont tous radiaux, ce qui confirme l'allure des lignes de champ près de la Terre de l'énoncé.

Pour vérifier l'allure des lignes de champ autour de la Lune, on fixe autre une fenêtre de visualisation dans le programme, par exemple avec Xmax = 550 et Xmin = 400.

On obtient le graphe suivant :



On remarque donc que les vecteurs champs obtenus sont compatibles avec l'allure des lignes de champ près de la Lune.