

Chapitre 8 « Interactions fondamentales et introduction à la notion de champ »

**Les compétences à acquérir...**

- 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.
  - Force de gravitation et champ de gravitation. / Force électrostatique et champ électrostatique.
  - 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.
- Illustrer l'interaction électrostatique. Cartographier un champ électrostatique.*



Règle en PVC électrisée

Attraction de la boule

Transfert d'électrons

Répulsion de boule

Le phénomène de l'électrisation d'un corps est connu depuis longtemps. Dès l'antiquité, Thalès (VII<sup>e</sup> siècle avant J.-C.) avait constaté que l'ambre attire après frottements des corps légers. Cette expérience est reproduite de nos jours avec une simple règle en plastique frottée avec de la laine et de petits morceaux de papier ou un pendule constituée d'une sphère en polystyrène recouverte d'aluminium. (Activité 1)

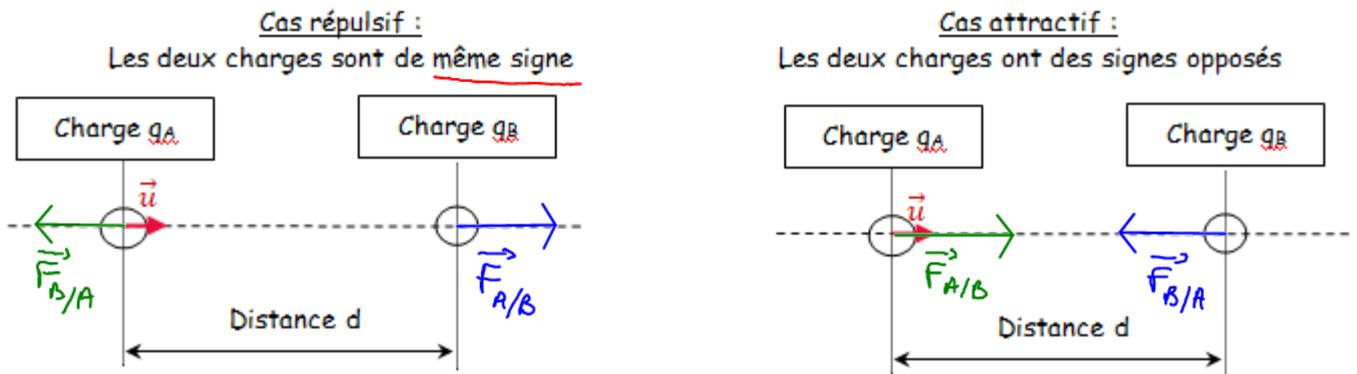
*Un objet chargé électriquement engendre, à distance, un déplacement de charge à la surface d'un conducteur placé à proximité ou **par contact** un transfert de charge.*

**I- Interactions électrostatiques et gravitationnelles :**

**1- Interactions électrostatiques et loi de Coulomb :**

**a- Loi de Coulomb :** Expression des forces électriques

Deux objets A et B chargés de charges électriques  $q_A$  et  $q_B$ , séparés par une distance  $d$  exercent l'un sur l'autre une interaction appelée interaction *électrostatique*....  
 Cette interaction est soit *attractrice* ..... soit *répulsive* .....



Représenter sans souci d'échelle les vecteurs forces  $\vec{F}_{B/A}$  (force exercée par B sur A) et  $\vec{F}_{A/B}$  (force exercée par A sur B) dans les 2 cas.  $\vec{u}$  est un vecteur unitaire.

Relation entre ces 2 vecteurs et expression de leur intensité

$\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A} = k \times \frac{q_A \times q_B}{d^2} \vec{u}$ <p><i>Vecteurs opposés</i></p> $F_{A/B} = F_{B/A} = k \times \frac{ q_A \times q_B }{d^2}$ <p><i>même norme</i></p> <p><math>k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}</math> la constante de Coulomb.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les points d'applications des forces sont respectifs les <i>centres de gravités</i>... des objets A et B,</li> <li>- la direction est la droite liant le centre des deux objets,</li> <li>- leurs sens sont <i>opposés</i>.....</li> <li>- Les forces sont de <i>même</i>... intensité :</li> </ul>
--	--

**Remarque :** Retrouvez l'unité de la constante de Coulomb  $k$

on peut écrire que  $k = \frac{F \times d^2}{|q_A \times q_B|}$  donc  $k$  s'exprime en  $N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$

**b- La charge électrique  $q$  :**

Il existe une charge élémentaire... notée  $e$  qui correspond à la plus petite charge électrique portée par une particule.

$e = 1,60 \cdot 10^{-19} C$

La charge portée par un électron est :  
 $q_e = -e = -1,60 \cdot 10^{-19} C$

La charge portée par un proton est :  
 $q_p = +e = 1,60 \cdot 10^{-19} C$

**Au niveau macroscopique, toute charge électrique  $q$  associée à un objet est un multiple de cette charge élémentaire :**

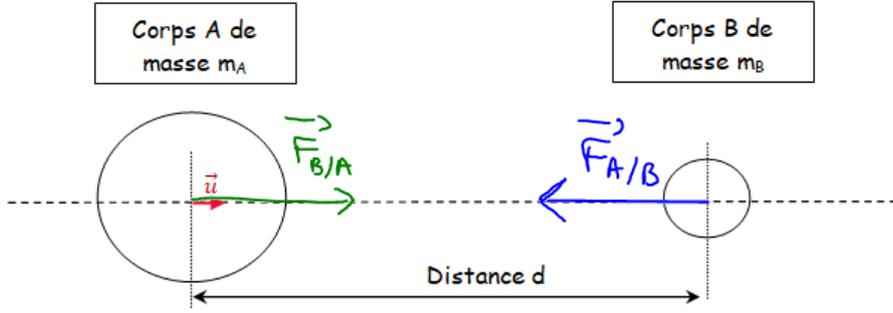
$q = n \cdot e$  avec  $n \in \mathbb{Z}$

**Exercice :** Calculer la valeur de la force électrique s'exerçant entre l'électron et le proton d'un atome d'hydrogène de diamètre  $d_H = 2,4 \text{ fm}$

$F_{e/p} = F_{p/e} = k \times \frac{|q_e \times q_p|}{(d_H/2)^2} = k \frac{e^2}{(d_H/2)^2} = \frac{9,0 \cdot 10^9 \times (1,60 \cdot 10^{-19})^2}{(2,4 \cdot 10^{-15}/2)^2}$

**2- Interactions gravitationnelles et force de gravitation universelle :**

Deux corps A et B (à répartition sphérique de masse) de masses  $m_A$  et  $m_B$ , séparés par une distance  $d$  exercent l'un sur l'autre des forces toujours attractive..... et de même intensité



Représenter sans souci d'échelle les vecteurs forces  $\vec{F}_{B/A}$  (force exercée par B sur A) et  $\vec{F}_{A/B}$  (force exercée par A sur B).  $\vec{u}$  est un vecteur unitaire.

Relation entre ces 2 vecteurs et expression de leur intensité

$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}$

$F_{A/B} = F_{B/A} = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$   
 même intensité

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$  la constante de la gravitation universelle

- les points d'applications des forces sont respectifs les centres d'inertie..... des objets A et B, de gravité
- la direction est la droite liant les centres des deux objets,
- leurs sens sont opposés.....
- Les forces sont de même..... intensité

**Remarque :** Attention aux unités :

- la longueur  $d$  est en mètre (m),
- les masses  $m_A$  et  $m_B$  sont en kilogrammes... kg
- la force  $F$  est en newtons (N).

**Masse de la terre**  
 $M_T = 5,9722 \times 10^{24} \text{ kg}$   
**Rayon de la terre**  
 $R_T = 6\,371 \text{ km}$

**Exercice :** Calculez la force exercée par la terre sur vous  $F_{T/vous}$  ?

$F_{T/moi} = G \times \frac{M_T \times m_{moi}}{R_T^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,9722 \cdot 10^{24} \times 75}{(6371 \cdot 10^3)^2} = 736 \text{ N}$

Quelle est l'intensité de la force que vous exercez sur la terre ? ... de poids (est égale à  $F_{T/moi}$ )

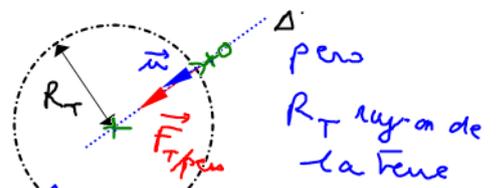
Quel est le « petit nom » que l'on donne à cette force exercée par la terre sur vous ? ... de poids.....

$\vec{P} = \vec{F}_{T/pers} \Rightarrow m_{pers} \times \vec{g} = G \times \frac{M_T \times m_{pers}}{d^2} \vec{u}$

$$m_{\text{perso}} \times \vec{g} = m_{\text{perso}} \times \frac{G \times M_T}{d^2} \vec{u}$$

$$\Rightarrow \vec{g} = \frac{G \times M_T}{d^2} \vec{u}$$

$\vec{F}_T / \text{perso}$  et  $\vec{u}$  sont  
colinéaires:  $\Delta$  et  $\vec{u}$  sont



### 3- Analogie entre les forces électrostatiques et les forces de gravitations interactions électrostatiques et gravitationnelles :

	Caractéristique de la particule qui crée le champ	Schéma	Expression vectorielle	norme
Interaction gravitationnelle	Entre 2 objets de masse $m_A$ et $m_B$ : Attractif.		$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$ $\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$ $\vec{F}_{B/A} = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$	$F_{A/B} = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$ $F_G$ : en newtons (N) $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ $m$ : en kilogrammes (kg) $d$ : en mètres (m)
Interaction électrostatique	Entre 2 particules de charges $q_A$ et $q_B$ $q_A \times q_B > 0$ $\Rightarrow$ répulsif. $q_A \times q_B < 0$ $\Rightarrow$ attractif.		$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$ $= k \frac{q_A \times q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$ ① $q_A \times q_B < 0$ attractif ② $q_A \times q_B > 0$ répulsif.	$F_{B/A} = k \frac{ q_A \times q_B }{d^2}$ $= F_{A/B}$ $F_E$ : en newtons (N) $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ $q$ : en Coulombs (C) $d$ : en mètres (m)

Remarque :

Ces interactions présentent des similitudes dans l'expression des forces si  $d \uparrow$  alors les intensités des forces diminuent ( $1/d^2$ )

## II- Champs électrostatique et champ gravitationnelle :

### 1-Définition d'un champ en physique :

Un champ est une propriété physique définie en tout point de l'espace, modélisée soit :

- par une grandeur physique (un nombre) . On parle alors de champ

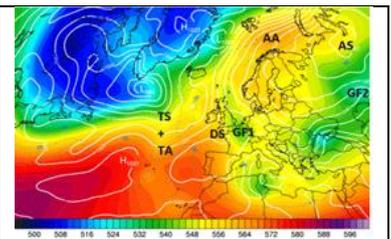
scalaire .

- par un vecteur. On parle alors de champ vectoriel

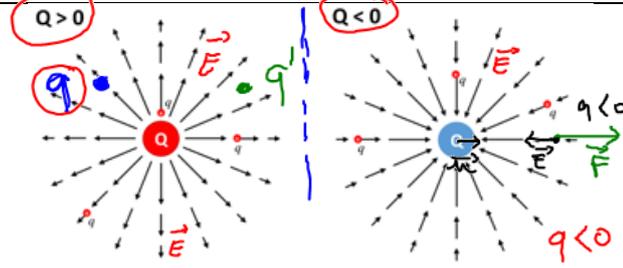
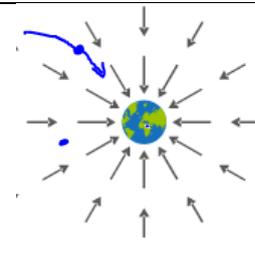
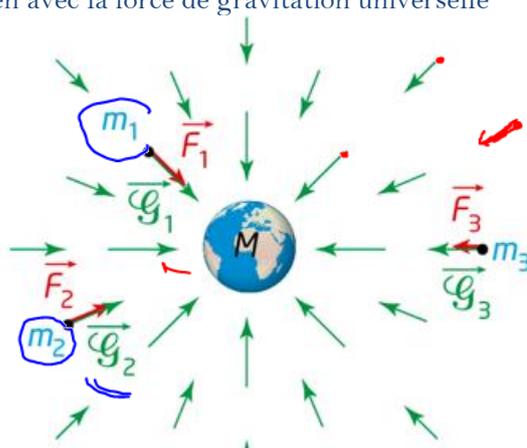
Exemples :

- l'altitude à la surface de terre, l'altitude  
(champ scalaire)

- les vitesses des vents : Direction, sens, intensité.  
(champ vectoriel)

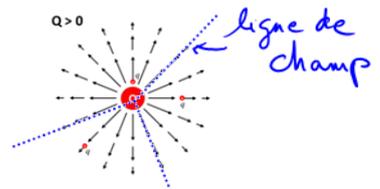
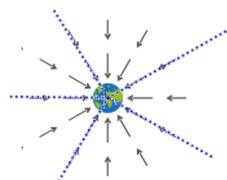


## 2- Champs électrostatique et champ gravitationnelle :

Champ électrostatique	champ gravitationnelle
<p>Toute particule chargée <math>q</math> entrant dans un champ électrostatique subit une force</p> $\vec{F}_e = q \times \vec{E}$ <p>où <math>\vec{E}</math> est le champ électrique</p>	<p>Tout objet de masse <math>m</math> entrant dans un champ de gravitationnel subit une force</p> $\vec{F}_g = m \times \vec{g}$ <p>où <math>\vec{g}</math> est le champ gravitationnel</p>
	
<p>Le lien avec la loi de coulomb</p> <p>Notion de champ crée avec particule <math>Q</math> :          Cette particule modifie l'espace autour d'elle :          Si une autre particule <math>q</math> entre dans ce champ elle subit une interaction</p> <p><math>\vec{F}_{Q/q}</math> dans le champ</p> $\vec{F}_{Q/q} = k \times \frac{q \times Q}{d^2} \vec{u}$ $\vec{F}_{Q/q} = q \times \frac{kQ}{d^2} \vec{u}$ <p><math>q'</math> dans le champ crée par <math>Q</math></p> $\vec{F}_{Q/q'} = k \times \frac{q' \times Q}{d^2} \vec{u}$ $= q' \times \frac{kQ}{d^2} \vec{u}$ <p>donc <math>\vec{E} = \frac{kQ}{d^2} \vec{u}</math> car <math>\vec{F}_{Q/q'} = q' \times \vec{E}</math></p> <p><math>E = \frac{kQ}{d^2}</math> si <math>d \uparrow</math> alors <math>E \downarrow</math></p>	<p>Le lien avec la force de gravitation universelle</p>  <p>Tout objet de masse <math>m</math> "encom" dans le champ gravitationnel de la terre subit une force attractive</p> $\vec{F}_{T/O_1} = G \frac{m_1 \times M_T}{d^2} \vec{u}$ $= m_1 \times \frac{G \times M_T}{d^2} \vec{u}$ $\vec{F}_{T/O_2} = m_2 \times \frac{G \times M_T}{d^2} \vec{u}$ <p>on définit le champ de pesanteur</p> $\vec{g} = \frac{G \times M_T}{d^2} \vec{u}$

### 3- Ligne de champ Champs électrostatique

Les lignes de champ sont les courbes tangentes... aux vecteurs du champ électrostatique ou champ gravitationnel



## 4- Superposition de 2 champs :

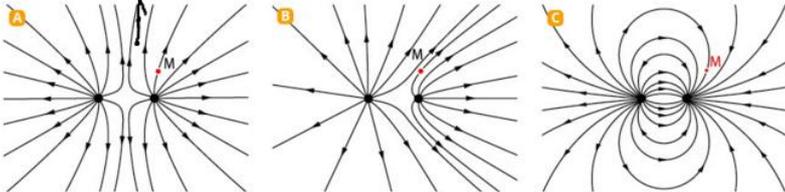
### Exercice résolu EN AUTONOMIE

#### 26 Lignes de champ

Deux charges électriques  $q_1 = 500 \text{ pC}$  et  $q_2 = 50 \text{ pC}$ , distantes d'une longueur  $d = 4,0 \text{ cm}$ , engendrent deux champs électriques qui se superposent.

Donnée : constante de Coulomb :  $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

1. **Modéliser**, à l'échelle, chaque charge électrique par un point.
2. Placer un point M respectivement à  $4,5 \text{ cm}$  de  $q_1$  et à  $2,0 \text{ cm}$  de  $q_2$ .
3. **Calculer l'intensité** des vecteurs champs électriques  $\vec{E}_1$  et  $\vec{E}_2$  au point M respectivement engendrés par les charges électriques  $q_1$  et  $q_2$ .
4. Tracer les vecteurs champs électriques  $\vec{E}_1$  et  $\vec{E}_2$  au point M en prenant pour échelle :  $1,0 \text{ cm} \leftrightarrow 1,0 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .
5. Le champ électrique produit est la superposition des deux champs électriques. Tracer le vecteur résultant  $\vec{E}$ .
6. Les trois figures ci-dessous représentent un ensemble de lignes de champ générées par deux charges électriques. Laquelle correspond à la situation de l'exercice ? **Justifier**.



#### LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► La **superposition** signifie somme vectorielle des deux champs électrostatiques au point M.

#### LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Modéliser** : proposer une représentation de la situation.
- **Calculer l'intensité** : trouver par le calcul la valeur du vecteur.
- **Justifier** : Montrer par un raisonnement qu'une affirmation ou qu'un résultat est correct.

#### EXEMPLE DE RÉDACTION

1. et 2. Voir schéma ci-contre.

$$3. \vec{E}_1 = k \cdot \frac{q_1}{r_1^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{500 \times 10^{-12}}{(4,5 \times 10^{-2})^2} = 2,2 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\vec{E}_2 = k \cdot \frac{q_2}{r_2^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{50 \times 10^{-12}}{(2,0 \times 10^{-2})^2} = 1,1 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

4. et 5. Voir schéma ci-contre.

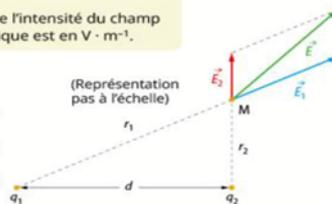
6. La figure **A** ne convient pas car le vecteur champ électrostatique en ce point M est quasi vertical ce qui n'est pas le cas.

La figure **B** ne convient pas car les lignes de champ sont de sens inverse au vecteur champ électrostatique.

La figure **C** peut convenir car l'inclinaison et le sens du vecteur  $\vec{E}$  sont corrects à condition que  $q_1$  soit à gauche et  $q_2$  à droite.

#### QUELQUES CONSEILS

2. L'utilisation d'un compas peut s'avérer pratique pour placer le point M.
3. L'unité de l'intensité du champ électrostatique est en  $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ .



### Exercice résolu EN AUTONOMIE

#### 28 Champ de gravitation Terre-Lune

La Terre et la Lune sont dans une position où ils sont distants de  $392\,000 \text{ km}$ .

On veut étudier l'impact de la superposition des champs gravitationnels des deux astres en un point à leur voisinage.

Données : masse de la Lune :  $M_L = 7,36 \times 10^{22} \text{ kg}$  ;

masse de la Terre :  $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$  ;

constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ .

1. **a. Modéliser** la Terre et la Lune par un point T et un point L. La distance entre les deux astres sera représentée en utilisant l'échelle suivante :  $1 \text{ cm} \leftrightarrow 50\,000 \text{ km}$ .
- b.** Placer un point noté P à une distance  $d_1 = 400\,000 \text{ km}$  de la Terre et  $d_2 = 70\,000 \text{ km}$  de la Lune.
2. **a. Calculer l'intensité**  $G_L$  du vecteur champ de gravitation engendré par la Lune au point P. Effectuer le même calcul pour connaître l'intensité du champ terrestre  $G_T$ .
- b.** Tracer les vecteurs  $\vec{G}_L$  et  $\vec{G}_T$  au point P en respectant l'échelle donnée :  $1 \text{ cm} \leftrightarrow 1,0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- c.** Le vecteur champ de gravitation résultant  $\vec{G}$  est obtenu en effectuant la superposition des deux champs. Tracer ce vecteur.
- d. En déduire** l'intensité du champ  $\vec{G}$  résultant.
3. Un objet de masse  $m = 400 \text{ kg}$  est placé au point P.
  - a.** Calculer la valeur de la force  $F$  qui modélise l'action mécanique qui agit sur l'objet.
  - b.** Tracer le vecteur sur la figure, sans souci d'échelle.
  - c.** Vers quel astre l'objet est-il attiré ? Ce résultat était-il prévisible ?

#### LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► Cela signifie qu'il faudra additionner les vecteurs champs gravitationnels en ce point.

#### LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Modéliser** : proposer une représentation de la situation.
- **Calculer l'intensité** : trouver par le calcul la valeur.
- **En déduire** : utiliser la réponse de la précédente question pour répondre.

#### EXEMPLE DE RÉDACTION

1. **a. et 1. b.** Voir schéma ci-contre.

$$2. \text{ a. } G_L = G \cdot \frac{M_L}{d_L^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{7,36 \times 10^{22}}{(7,0 \times 10^7)^2} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$G_T = G \cdot \frac{M_T}{d_T^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(4,0 \times 10^8)^2} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

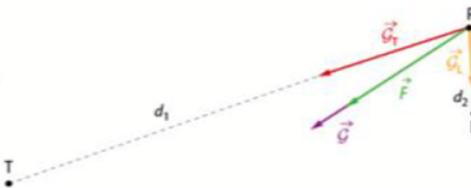
2. **b et 2. c.** Voir schéma ci-contre.

**d.** On obtient  $3,0 \text{ cm}$  pour le vecteur  $\vec{G}$  soit une intensité de  $3,0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

3. **a.**  $F = m \cdot G = 400 \times 3,0 \times 10^{-3} = 1,2 \text{ N}$

**b.** Voir schéma ci-contre.

**c.** L'objet sera plus attiré par la Terre même si celui-ci est plus proche de la Lune.



#### QUELQUES CONSEILS

2. L'utilisation d'un compas peut s'avérer pratique pour placer le point P.
4. La représentation des vecteurs doit être faite avec soin.