PHY-144 : Introduction à la physique du génie

Chapitre 1 : Unités, scalaires et vecteurs.

1.1 Introduction

La physique est la science de l'observation des phénomènes rencontrés dans la nature. Les physiciens tentent d'expliquer ces phénomènes par des principes et par des modèles; ces principes sont par la suite utilisés pour faire des prédictions... et si ces prédictions s'avèrent fausses, ils doivent modifier ces principes! Si les prédictions sont réalisées de façon fiable et répétitive, le principe est adopté et peut parfois porter le nom de loi (par exemple les 3 *lois* de Newton utilisées largement dans ce cours!).

Les problèmes de la vie réelle peuvent parfois être d'une grande complexité. Le simple mouvement d'une balle de tennis qui vient d'être frappée, par exemple, comporte plusieurs difficultés : la balle n'est pas parfaitement sphérique, elle tourne dans l'air, ce qui lui donne des mouvements latéraux, etc. Pour comprendre ce problème compliqué, les physiciens commencent par considérer une version simple : la balle est une sphère idéale qui n'est affectée que par l'action de la Terre. C'est un modèle simplifié qui permet déjà de comprendre beaucoup de choses sur le mouvement de la balle. Dans une deuxième étape, les physiciens ajouteront les difficultés au modèle. Comme ce cours est un cours d'introduction, on s'en tiendra le plus souvent aux modèles simplifiés... il suffit de connaître les limites de ces modèles.

1.2 Mesures et unités

La physique est une science expérimentale. On entend par là que tout ce qui concerne cette science est basé sur des mesures. On mesure certaines **quantités physiques** directement avec des appareils appropriés (par exemple, on mesure une distance avec un ruban à mesurer et un temps écoulé avec un chronomètre). Certaines quantités physiques peuvent être déduites à partir de la mesure d'autres quantités (la vitesse moyenne d'une voiture peut être calculée si on connaît la distance parcourue et le temps mis pour parcourir cette distance...).

Chaque mesure est basée sur une référence. Il est inutile de dire qu'un bureau a une longueur de « 2 ». Cependant, si on dit que le bureau mesure **2 mètres**, cela a une signification précise si on connaît ce qu'un mètre vaut. Le mètre est une des unités de base d'un système appelé Système International d'Unités (SI).

Les scientifiques du monde entier se sont entendus, depuis 1960, pour utiliser le Système International d'Unités (SI). Les unités fondamentales de ce système sont :

Tableau 1.1 : Unités fondamentales du Système International d'Unités.

Quantité physique	**Unité**	**Symbole**
Masse	kilogramme	kg
Longueur	mètre	m
Temps	seconde	s
Température	kelvin	K
Courant électrique	ampère	A
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candela	cd

Dans ce cours de PHY-144, nous utiliserons surtout le kilogramme, le mètre et la seconde.

Cependant nous utiliserons aussi beaucoup d'unités dérivées.

Exemple: le newton (N) est l'unité de la **force**.

$$1\ \text{N} = 1\ \text{kg} \times 1\ \text{m/s}^2$$

1.2.1 Préfixes et notation scientifique

Un des problèmes avec les unités fondamentales, c'est qu'elles peuvent ne pas convenir à ce qu'on mesure. On peut pallier à cette difficulté

a) en utilisant la notation scientifique :

Exemple : le rayon d'un atome d'aluminium est 0,000000000143 m.
Il sera largement préférable d'utiliser : $1{,}43 \times 10^{-10}$ m.

b) en utilisant des préfixes :

Dans le système international, on peut définir, à partir des unités fondamentales, de plus grandes ou de plus petites unités avec des préfixes. Un préfixe multiplie ou divise l'unité fondamentale par un multiple de 10.

Exemples :

un kilomètre = 1000 mètres
un centimètre = 1 mètre/100

Les préfixes courants sont :

pico-	10^{-12}	p
nano-	10^{-9}	n
micro-	10^{-6}	µ
milli-	10^{-3}	m
centi-	10^{-2}	c
kilo-	10^{3}	k
méga-	10^{6}	M
giga-	10^{9}	G

Exemples :

a) 1 nanomètre = 1 nm = 1×10^{-9} m (une dizaine de fois la taille d'un atome.)
b) 1 milligramme = 1 mg = 1×10^{-3} g = 1×10^{-6} kg
(la masse d'un grain de sucre.)
c) 1 mégawatt = 1 MW = 1×10^{6} W
(la production électrique d'une petite centrale.)

1.2.2 La masse et le poids

La masse et le poids sont deux quantités différentes. La masse est une mesure de la quantité de matière d'un objet; son unité de mesure est le kilogramme (kg). Le poids est une mesure de la force qu'exerce une planète sur cet objet; son unité de mesure est le Newton (N).

Pour connaître le poids W d'un objet sur Terre, il faut effectuer l'opération suivante :

$$\boxed{W = mg}$$

où m = la masse et $\boldsymbol{g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}}$.

La constante g (appelée constante gravitationnelle) est différente sur une autre planète (elle est environ 6 fois plus petite sur la Lune : $g_{Lune} = 1{,}62\ \mathrm{m/s^2}$).

Exemple 1.1: La masse d'un homme sur Terre est de 80 kg. Que vaut son poids sur la Terre? Que valent sa masse et son poids sur la Lune?

Son poids sur la Terre : $W = 80\ \text{kg} \times 9{,}81\ \text{m/s}^2 = 784{,}8\ \text{N}$.

Son poids sur la Lune : $W = 80\ \text{kg} \times 1{,}62\ \text{m/s}^2 = 129{,}6\ \text{N}$.

Sa masse sur la Lune : $m = 80$ kg (inchangée).

1.2.3 Conversion et cohérence des unités

Tout au long de ce cours de physique, on utilisera des équations qui comprennent des quantités physiques représentées par des symboles. Ces équations devront toujours être cohérentes sur le plan des unités.

Exemple : $x_f = x_i + v(t_f - t_i)$

si x_f est en mètres, x_i devra être en mètres et « $v(t_f - t_i)$ » devra aussi être en mètres.

$$5\ \text{m} = 0\ \text{m} + 5\ \text{m/s}\ (1\ \text{s} - 0\ \text{s}) \ldots$$

Conserver les unités dans un calcul est une excellente habitude!

Parfois, il faudra faire une conversion d'unités. Pour réaliser une conversion, une méthode simple est de multiplier par 1, et de se rappeler qu'on peut « éliminer » des unités comme n'importe quelle quantité algébrique. Qu'entend-on par là? Voici quelques exemples.

Exemple 1.2: Une voiture roule à 25 m/s. Quelle est sa vitesse en km/h?

$$v = 25\ \cancel{\text{m}}/\cancel{\text{s}} \times (1\text{km}/1000\ \cancel{\text{m}}) \times (3600\ \cancel{\text{s}}/1\ \text{h}) = 90\ \text{km/h}$$

Chaque quantité entre parenthèses vaut 1. En effet, 1000 m = 1 km et 1h = 3600 s. En outre, on voit que les « s » s'éliminent, ainsi que les « m ».

Exemple 1.3: De l'eau occupe un volume de 0,5 cm^3. Quel est ce volume en m^3 ?

$$V = 0{,}5\ \cancel{\text{cm}}^3 \times (1\ \text{m}/100\ \cancel{\text{cm}})^3 = 5\times10^{-7}\ \text{m}^3$$

Note :1 cm^3 = 1cm × 1cm × 1cm. Dans cet exemple, on voit que les « cm » s'éliminent.

1.3 Les vecteurs et les scalaires

Les quantités physiques les plus communément rencontrées en sciences sont de deux types :

Certaines quantités physiques sont des **scalaires**.

> Une quantité scalaire est une quantité dont la seule caractéristique est la grandeur.
> **Exemple**: la masse d'un objet, le temps écoulé entre deux événements, la température ambiante.

Certaines quantités physiques sont des **vecteurs**.

> Un vecteur est caractérisé par une **grandeur**, une **direction** et un **sens**.
> **Exemple**: la force appliquée sur un objet, le déplacement fait par un objet.

Dans le cadre de ce cours, les vecteurs seront désignés par un symbole surmonté d'une petite flèche, par exemple :

$$\vec{A}$$

Si on veut parler de la grandeur d'un vecteur, il y a deux façons de le faire :

Grandeur du vecteur $\vec{A} = A = |\vec{A}|$

Quand on représente graphiquement un vecteur, on trace, dans la direction du vecteur, un segment de droite dont la longueur représente la grandeur du vecteur. Une flèche, au bout du segment de droite, indique le sens. Le vecteur $\vec{A}$ ci-dessous représente un déplacement de 3m vers la droite à 30° au-dessus de l'horizontale.

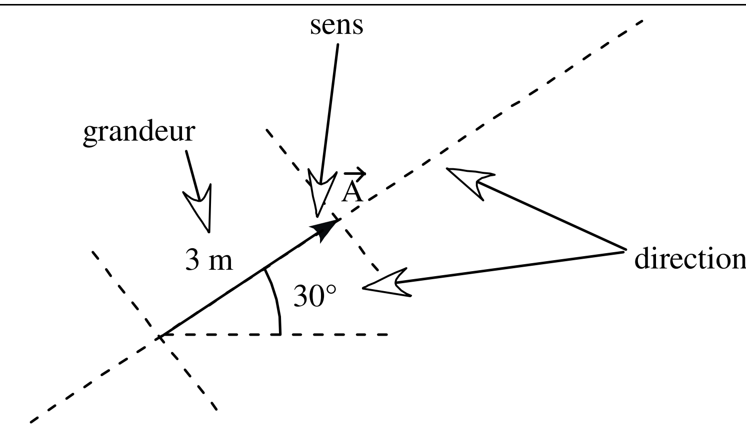
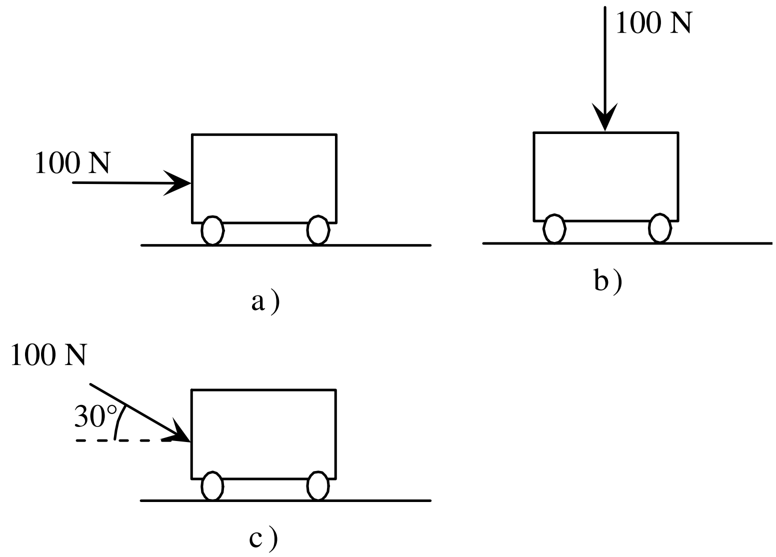


Figure 1.1 : Représentation graphique d'un vecteur.

Pour un vecteur, la grandeur **et** la direction **et** le sens ont de l'importance. La grandeur seule ne suffit pas à bien caractériser le vecteur.

Exemple 1.4 : en a), b) et c), une force dont la grandeur est 100 N est appliquée sur un petit chariot.



Clairement, l'effet de cette force sera différent en a, b et c!

1.3.1 Propriétés des vecteurs

1.3.1.1 Égalité de deux vecteurs

Deux vecteurs sont égaux s'ils ont la même grandeur, la même direction et le même sens.

À la figure 1.2, $\vec{B} = \vec{A}$

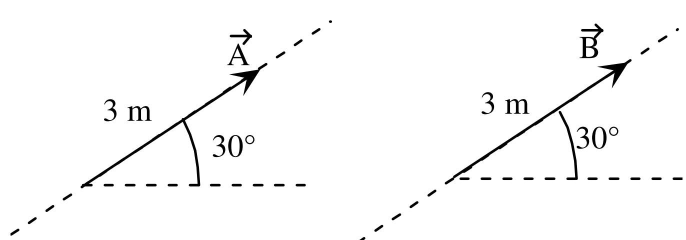


Figure 1.2 : Deux vecteurs égaux.

Mais, à la figure 1.3, $\vec{F}_1 \neq \vec{F}_2$

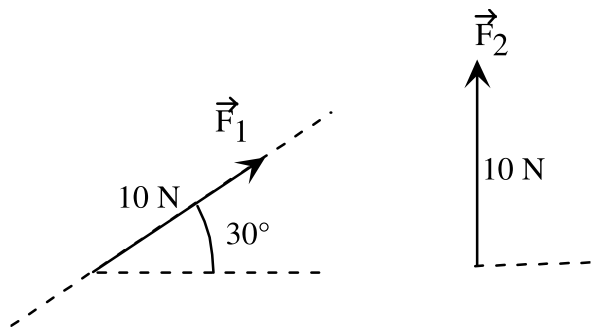


Figure 1.3 : Deux vecteurs inégaux.

1.3.1.2 Vecteurs opposés

Deux vecteurs sont opposés s'ils sont de même grandeur, de même direction, mais **de sens opposés**.

Quand on multiplie un vecteur par -1, on obtient le vecteur opposé.

À la figure 1.4, $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$

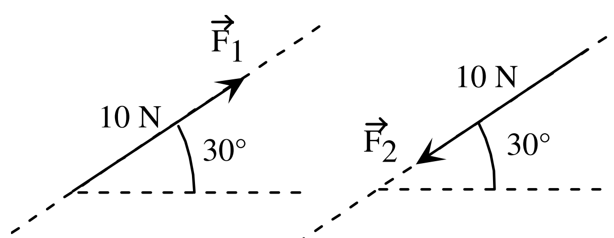


Figure 1.4 : Deux vecteurs opposés.

1.3.1.3 Multiplication d'un vecteur par un scalaire

La multiplication d'un vecteur par un scalaire modifie la grandeur du vecteur (et aussi le sens du vecteur, si le scalaire est négatif). Sa direction demeure inchangée.

À la figure 1.5, $\vec{F}_2 = 2\,\vec{F}_1$ et $\vec{F}_3 = -0{,}5\,\vec{F}_1$

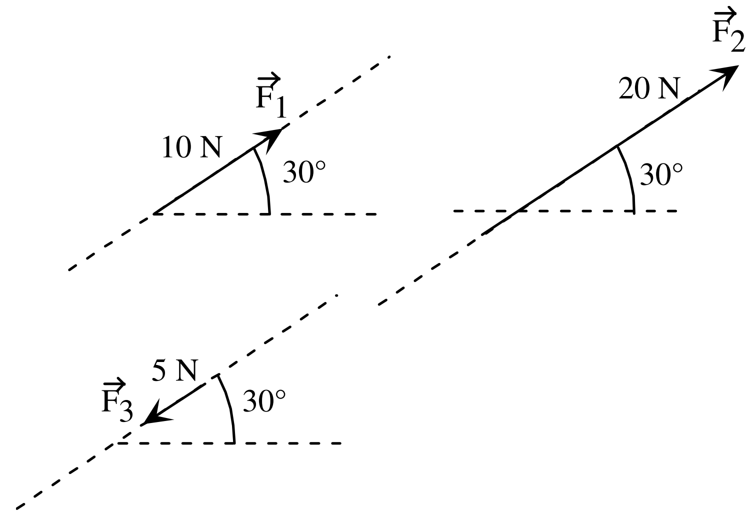


Figure 1.5 : Multiplication d'un vecteur et d'un scalaire.

1.4 Addition de vecteurs

1.4.1 Généralités

Voici encore une autre différence majeure entre les scalaires et les vecteurs : ils ne s'additionnent pas de la même façon!

Addition de scalaires :

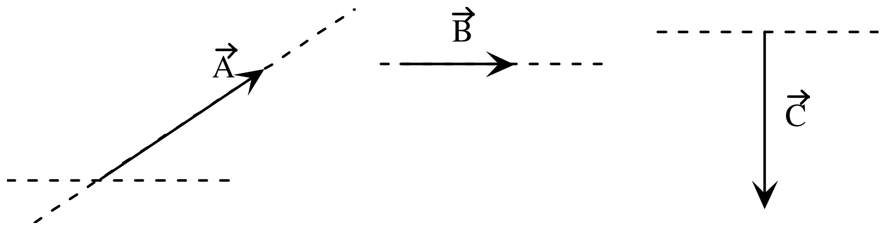
2 kg + 4 kg = 6 kg

Addition de vecteurs :

$\vec{A} + \vec{B} = ??$

Les règles du jeu sont différentes. Pour effectuer cette addition, **le vecteur $\vec{B}$ est mis au bout du vecteur $\vec{A}$**. Le résultat est un vecteur reliant le début du vecteur $\vec{A}$ à la fin du vecteur $\vec{B}$.

Voici 3 vecteurs $\vec{A}$, $\vec{B}$ et $\vec{C}$:



Et quelques additions de vecteurs :

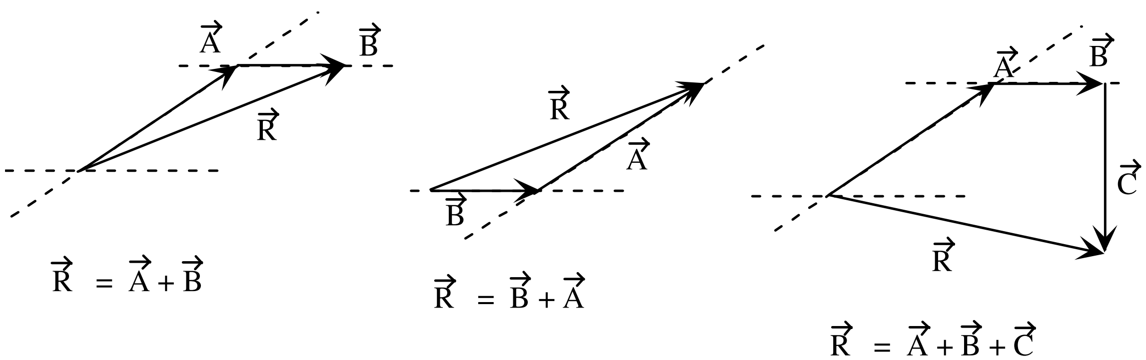
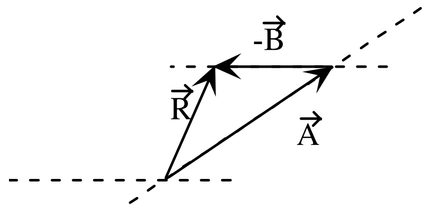


Figure 1.6 : Exemples d'additions de vecteurs.

On voit, en particulier, que **l'ordre dans lequel on additionne les vecteurs n'a aucune importance.**

La **soustraction** d'un vecteur est l'addition du vecteur opposé :

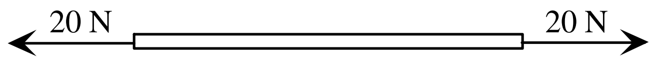
$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$$



$$\vec{R} = \vec{A} - \vec{B}$$

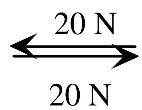
Figure 1.7 : Soustraction de vecteurs.

Exemple 1.5 : Une corde est soumise à 2 forces de grandeur 20 N. Quelle est la force totale exercée sur la corde?



Réponse : la force totale est… 0.

L'addition des 2 vecteurs donne un vecteur de grandeur 0.



1.4.2 Addition de vecteurs : méthode graphique

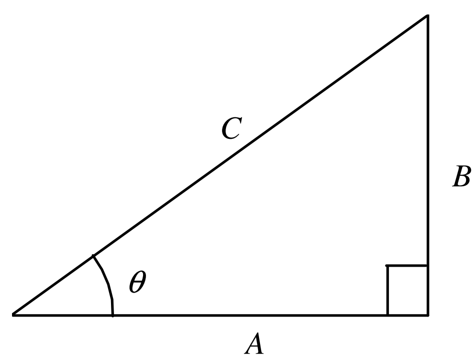
Comme on peut le voir aux figures 1.6 et 1.7, l'addition de vecteurs implique souvent l'apparition de **triangles.** Si on veut trouver la grandeur du vecteur $\vec{R}$ dans ces figures, il est pratique de connaître quelques relations utiles de trigonométrie (la géométrie des triangles).

Triangle rectangle :

$$\cos(\theta) = \frac{adjacent}{hypoténuse} = \frac{A}{C}$$

$$\sin(\theta) = \frac{opposé}{hypoténuse} = \frac{B}{C}$$

$$\tan(\theta) = \frac{opposé}{adjacent} = \frac{B}{A}$$



<u>Théorème de Pythagore</u> :

$$C^2 = A^2 + B^2$$

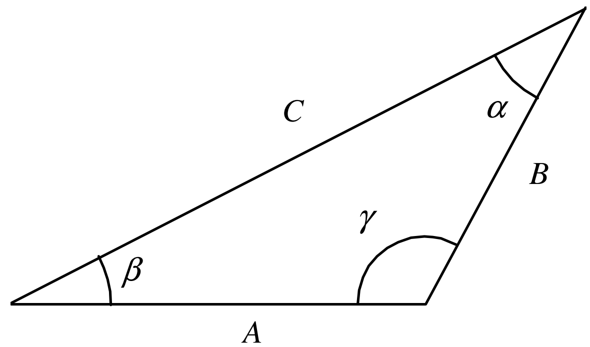
Triangle quelconque :

Règle des sinus :

$$\boxed{\frac{A}{\sin(\alpha)}=\frac{B}{\sin(\beta)}=\frac{C}{\sin(\gamma)}}$$

Règle des cosinus :

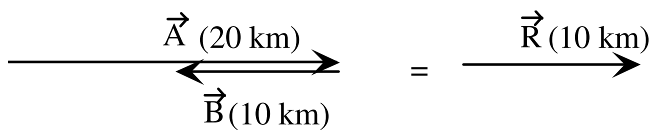
$$C^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos(\gamma)$$



Exemple 1.6 : Un homme effectue une marche de santé. Dans chaque cas, donnez la distance totale parcourue, ainsi que le déplacement (vecteur) total.

a) L'homme marche 20 km vers l'est, puis 10 km vers l'ouest.
b) L'homme marche 20 km vers l'est, puis 10 km vers le nord.
c) L'homme marche 20 km vers l'est, puis 10 km vers le nord, à 30° de l'est.

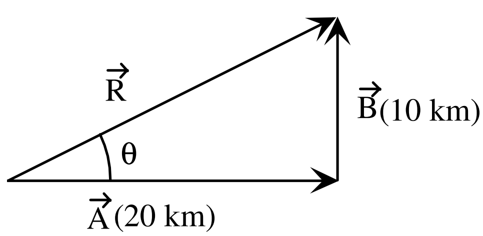
a)



distance totale = 30 km

déplacement total ($\vec{R}$) = 10 km vers l'est.

b)



distance totale = 30 km

déplacement total : grandeur :

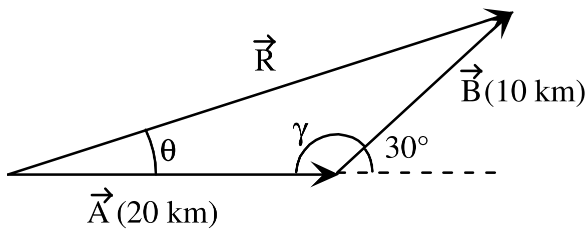
$R^2 = (10 \text{ km})^2 + (20 \text{ km})^2 \qquad R = 22{,}36 \text{ km}$

direction:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{10 \text{ km}}{20 \text{ km}}\right) = 26{,}56^{\circ}$$

$\vec{R}$ = 22,36 km à 26,56° au nord de l'est.

c)



distance totale = 30 km
déplacement total :

l'angle γ= 180°-30° = 150°

grandeur :
$R^2 = (10\text{ km})^2 + (20\text{ km})^2 - 2(10\text{ km})(20\text{ km})\cos(150°)$
R = 29,09 km
direction:

$$\frac{10\text{ km}}{\sin(\theta)} = \frac{29,09\text{ km}}{\sin(150^o)}$$

θ = 9,90°

$\vec{R}$ = 29,09 km à 9,90° au nord de l'est.

1.4.3 Addition de vecteurs : méthode analytique

1.4.3.1 Généralités

L'addition de vecteurs par la méthode graphique n'est pas très pratique… Dès que l'on doit additionner plus de deux vecteurs, par exemple, elle devient très fastidieuse.

On préfère de loin utiliser la méthode « analytique », que nous allons maintenant décrire. Pour comprendre cette méthode, il faut d'abord imaginer 2 axes se croisant à 90°. L'un des 2 axes est nommé « axe des x » et l'autre est nommé « axe des y ». L'ensemble de ces 2 axes est appelé « repère cartésien ».

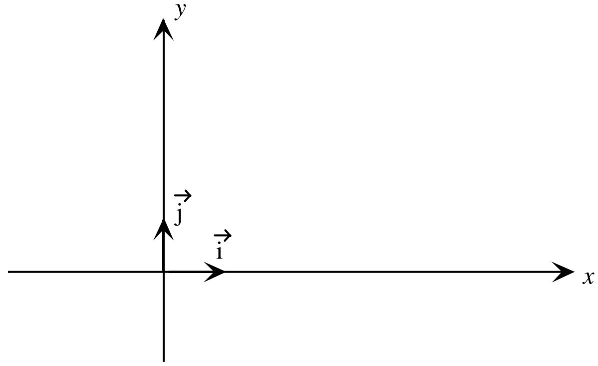


Figure 1.8 : Repère cartésien.

Quelques remarques :

a) Bien qu'il soit assez fréquent de placer les axes *x* et *y* de cette façon (« horizontal-vertical »), on peut les disposer autrement (**cependant, *x* et *y* doivent toujours être à 90° l'un de l'autre**).
b) Dans le cadre de ce cours de PHY-144, tous les vecteurs seront « planaires », ou à 2 dimensions. La généralisation à 3 dimensions est nécessaire (notre monde n'est pas un plan!) mais sera faite en ING-150.

Les vecteurs $\vec{\mathrm{i}}$ et $\vec{\mathrm{j}}$ sont appelés « **vecteurs unitaires** ». Ce sont des vecteurs de grandeur = 1 (sans unités). Ils sont très utiles pour indiquer la direction des vecteurs.

Exemple 1.7 :

a) $\vec{\mathrm{F}}_1 = 4\,\mathrm{N}\,\vec{\mathrm{i}}$

Cette force est de **grandeur 4 N** et est appliquée dans la direction des ***x* positifs** (vers la droite sur la figure 1.8).

a) $\vec{\mathrm{F}}_2 = -10\,\mathrm{N}\,\vec{\mathrm{j}}$

Cette force est de **grandeur 10 N** et est appliquée dans la direction des ***y* négatifs** (vers le bas sur la figure 1.8).

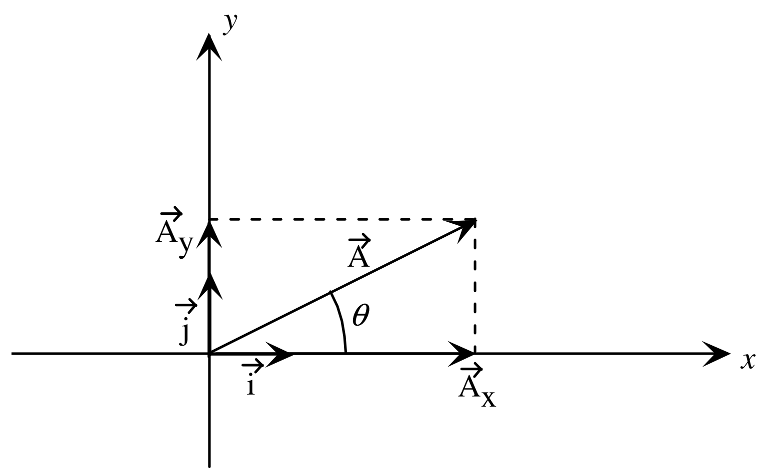
1.4.3.2 Composantes d'un vecteur

L'intérêt du repère cartésien est que n'importe quel vecteur planaire peut être vu comme l'addition d'un vecteur de direction « *x* » avec un vecteur de direction «*y*».

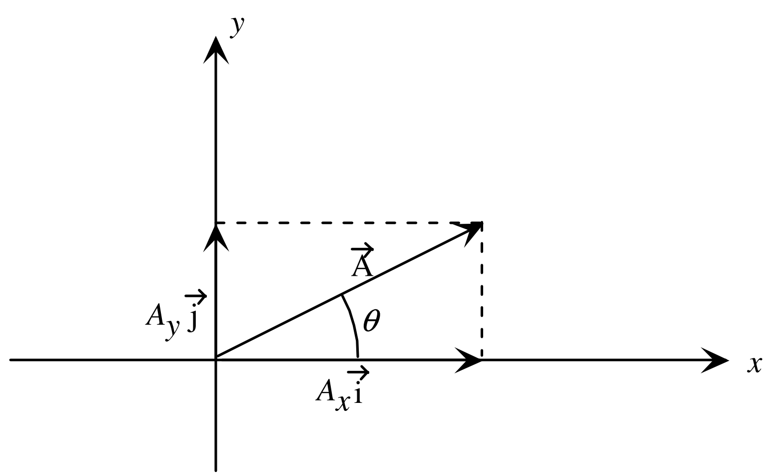
À la figure 1.9 a), on voit que le vecteur $\vec{\mathrm{A}} = \vec{\mathrm{A}}_\mathrm{x} + \vec{\mathrm{A}}_\mathrm{y}$ (si on met $\vec{\mathrm{A}}_\mathrm{y}$ au bout de $\vec{\mathrm{A}}_\mathrm{x}$, on obtient bien $\vec{\mathrm{A}}$). Le vecteur $\vec{\mathrm{A}}_\mathrm{x}$ peut être vu comme un scalaire A_x multiplié par le vecteur $\vec{\mathrm{i}}$ (puisque $\vec{\mathrm{A}}_\mathrm{x}$ et $\vec{\mathrm{i}}$ sont de même direction). Et on peut dire la même chose des vecteurs $\vec{\mathrm{A}}_\mathrm{y}$ et $\vec{\mathrm{j}}$.

Donc

$$\vec{\mathrm{A}}_\mathrm{x} = A_x\,\vec{\mathrm{i}} \quad \text{et} \quad \vec{\mathrm{A}}_\mathrm{y} = A_y\,\vec{\mathrm{j}}$$



a)



b)

Figure 1.9 : Décomposition d'un vecteur en ses composantes.

Donc :

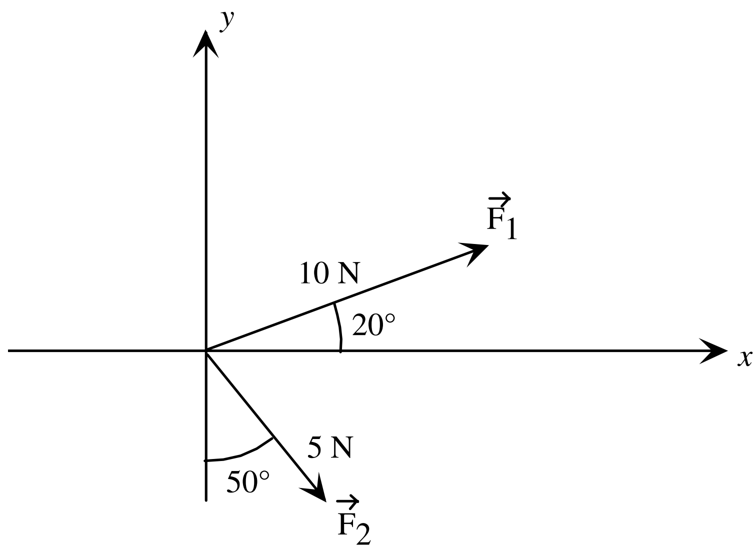
$$\boxed{\vec{A} = A_x\,\vec{i} + A_y\,\vec{j}}$$

A_x est appelée « **composante en *x*** » de $\vec{A}$.

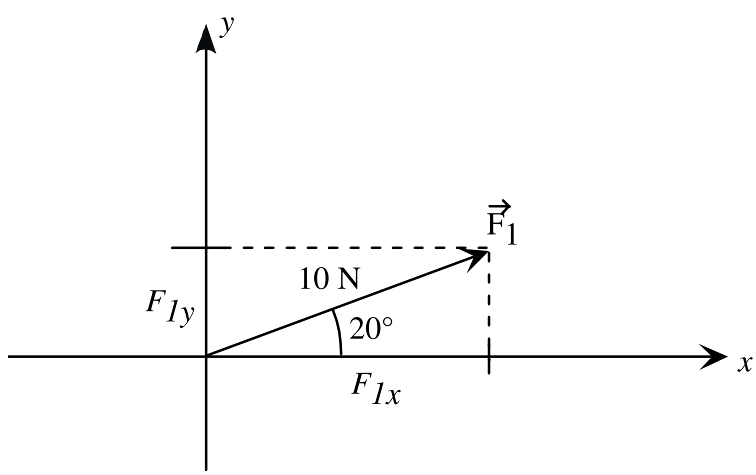
A_y est appelée « **composante en *y*** » de $\vec{A}$.

Les composantes A_x et A_y peuvent être positives ou négatives.

Exemple 1.8 : Exprimez les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ selon leurs composantes.



a) $\vec{F}_1$:



On peut voir d'abord que F_{1x} et F_{1y} sont positifs. Ensuite on peut voir un triangle rectangle où l'hypoténuse est F_1 = 10 N, le côté adjacent est F_{1x} et le côté opposé est F_{1y}.

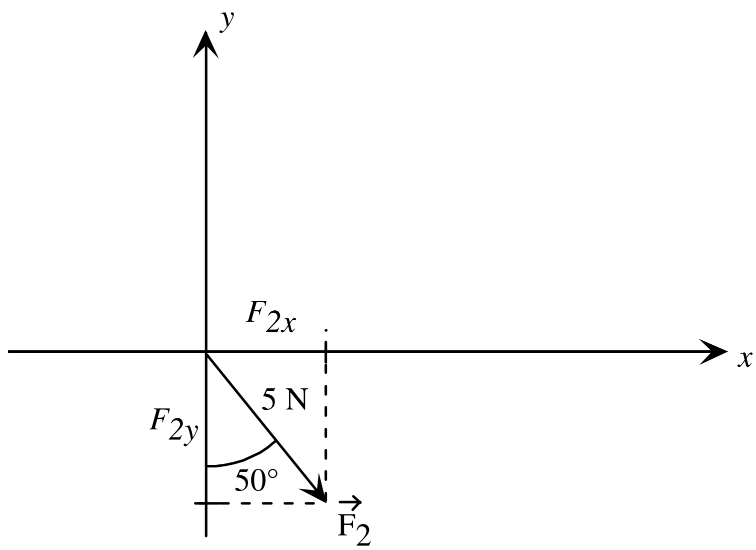
Donc

F_{1x} /10 N = cos (20°) ou encore F_{1x} = 10 N cos(20°) = 9,397 N

F_{1y} /10 N = sin (20°) ou encore F_{1y} = 10 N sin (20°) = 3,420 N

Réponse : $\vec{F}_1 = 9{,}397\ \mathrm{N}\ \vec{i} + 3{,}420\ \mathrm{N}\ \vec{j}$

b) $\vec{F}_2$:



On voit que F_{2x} est positif, mais que $\boldsymbol{F_{2y}}$ **est négatif**. Ensuite on voit un triangle rectangle où l'hypoténuse est F_2 = 5 N, le côté adjacent est la grandeur de F_{2y} et le côté opposé est F_{2x}.

Donc F_{2x} = 5 N sin(50°) = 3,830 N
F_{2y} = - 5 N cos (50°) = - 3,214 N

Réponse : $\vec{F}_2$ = 3,830 N $\vec{i}$ - 3,214 N $\vec{j}$

1.4.3.3 Addition de vecteurs à l'aide des composantes

N'importe quel vecteur est décomposable en deux composantes (x et y), ce qui a pour effet de rendre facile l'addition de vecteurs, peu importe leur nombre.

En effet, si on veut faire l'addition suivante :

$$\vec{R} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2 + \vec{A}_3 + \ldots$$

On peut décomposer chaque vecteur :

$$R_x\,\vec{i} + R_y\,\vec{j} = (A_{1x}\,\vec{i} + A_{1y}\,\vec{j}) + (A_{2x}\,\vec{i} + A_{2y}\,\vec{j}) + (A_{3x}\,\vec{i} + A_{3y}\,\vec{j}) + \ldots$$

Comme on peut additionner les vecteurs dans n'importe quel ordre, on peut réécrire cette ligne :

$$R_x \vec{i} + R_y \vec{j} = (A_{1x} + A_{2x} + A_{3x} + \ldots)\, \vec{i} + (A_{1y} + A_{2y} + A_{3y} + \ldots)\, \vec{j}$$

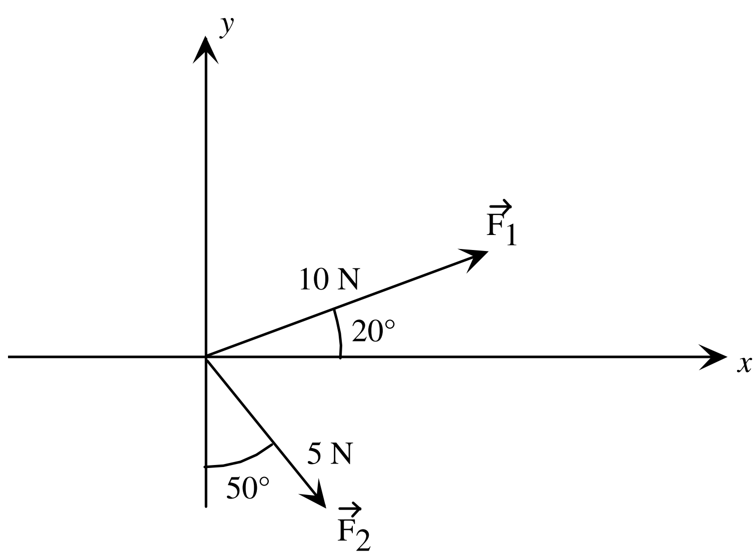
Le vecteur à gauche ($R_x \vec{i} + R_y \vec{j}$) doit être égal au vecteur à droite ($(A_{1x} + A_{2x} + A_{3x} + \ldots)\vec{i} + (A_{1y} + A_{2y} + A_{3y} + \ldots)\vec{j}$). Pour cela, il faut que ces deux vecteurs soient de même grandeur, même direction et même sens. **Cela ne peut se faire que si les composantes de ces deux vecteurs sont identiques**. Donc :

$$R_x = A_{1x} + A_{2x} + A_{3x} + \ldots$$
$$R_y = A_{1y} + A_{2y} + A_{3y} + \ldots$$

ou, si on veut être plus compact :

$$\boxed{\begin{aligned} R_x &= \sum A_x \\ R_y &= \sum A_y \end{aligned}}$$

Exemple 1.9 : Additionner les 2 forces suivantes :



Les composantes de ces forces sont :

Composantes de $\vec{F}_1$: F_{1x} = 10 N cos(20°) = 9,397 N

F_{1y} = 10 N sin (20°) = 3,420 N

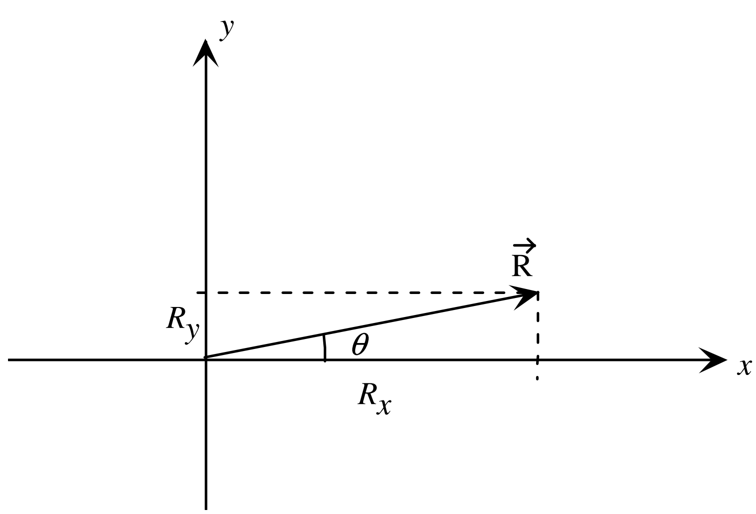
Composantes de $\vec{F}_2$: $F_{2x} = 5\text{ N} \sin(50°) = 3{,}830\text{ N}$

$F_{2y} = -5\text{ N} \cos(50°) = -3{,}214\text{ N}$

$R_x = 9{,}397\text{ N} + 3{,}830\text{ N} = 13{,}227\text{ N}$
$R_y = 3{,}420\text{ N} + - 3{,}214\text{ N} = 0{,}206\text{ N}$

Réponse : $\vec{R} = 13{,}227\text{ N}\,\vec{i} + 0{,}206\text{ N}\,\vec{j}$

Cette réponse est complète; elle donne tout ce qu'il faut savoir sur le vecteur $\vec{R}$. Si on veut exprimer ce vecteur sous la forme « grandeur-direction » alors :



Grandeur : $R = \sqrt{(13{,}227\text{ N})^2 + (0{,}206\text{ N})^2}$ $\qquad R = 13{,}229\text{ N}$

Direction : $\theta = \tan^{-1}\left(\dfrac{0{,}206\text{ N}}{13{,}227\text{ N}}\right)$ $\qquad \theta = 0{,}89°$

Réponse : $\vec{R} = 13{,}229\text{ N}$ à 0,89° au-dessus de l'axe des *x*.

Exemple 1.10 : si on utilise le diagramme de l'exemple précédent, que vaut alors $\vec{V} = \vec{F}_1 - 4\vec{F}_2$??

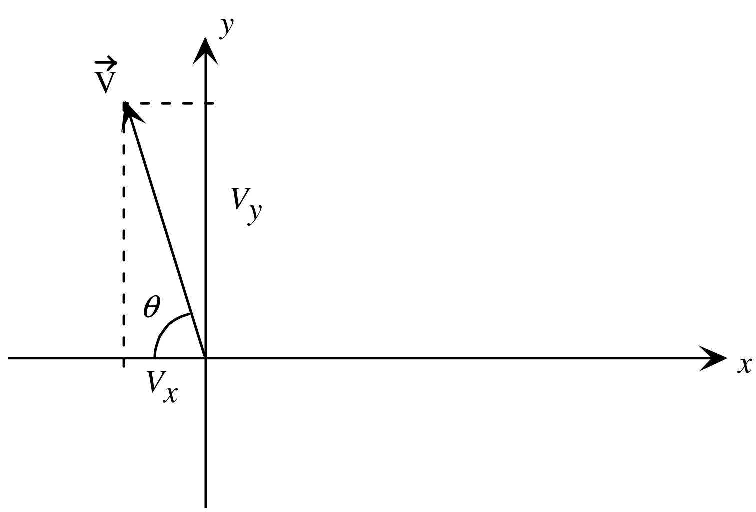
Composantes de $\vec{F}_1$: F_{1x} = 10 N cos(20°) = 9,397 N
F_{1y} = 10 N sin (20°) = 3,420 N

Composantes de $\vec{F}_2$: F_{2x} = 5 N sin(50°) = 3,830 N
F_{2y} = - 5 N cos (50°) = - 3,214 N

V_x = 9,397 N + -4 (3,830 N) = -5,923 N
V_y = 3,420 N + -4 (-3,214 N) = 16,276 N

Réponse : $\vec{V}$ = -5,923 N $\vec{i}$ + 16,276 N $\vec{j}$

ou encore :



Grandeur : $V = \sqrt{(5,923\text{ N})^2 + (16,276\text{ N})^2}$ $\qquad V$ = 17,320 N

Direction : $\theta = \tan^{-1}\left(\dfrac{16,276\text{ N}}{5,923\text{ N}}\right)$ $\qquad \theta = 70°$

Réponse : $\vec{V}$ = 17,320 N à 70° au-dessus de l'axe des x négatifs.

Problèmes du chapitre 1 :

Note : <u>utilisez toujours la méthode analytique</u>.

1. Trouvez la résultante des vecteurs de la figure 1. Entre parenthèses, on indique la grandeur des vecteurs en kilomètres.

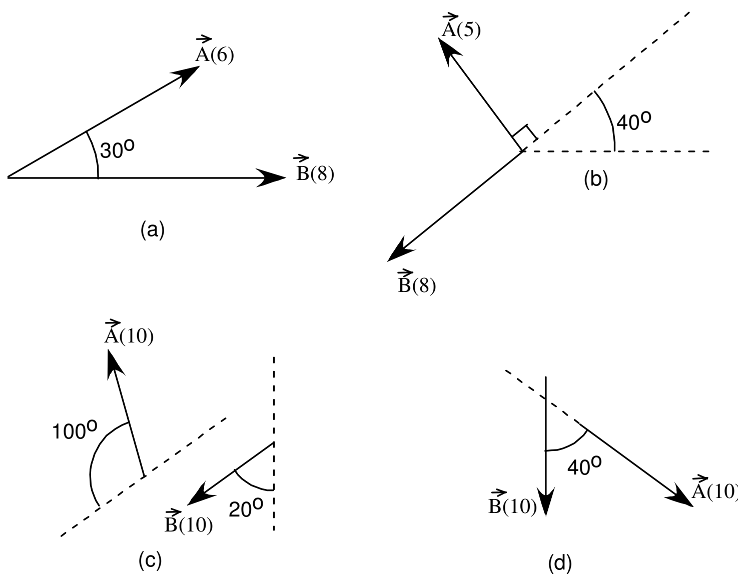


Figure 1

2. Trouvez la résultante des vecteurs de la figure 2. Entre parenthèses, on indique la grandeur des vecteurs en mètres.

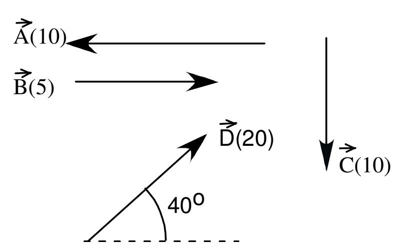


Figure 2

3. Refaites le problème 2 en additionnant d'abord $\vec{A}+\vec{C}$ et ensuite $\vec{B}+\vec{D}$. Additionnez les résultantes ensembles. Trouvez-vous le même résultat qu'au problème 2?

4. Pour le système de vecteurs de la figure 3 (les grandeurs sont en cm).
   a) Calculez $\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}$

b) Calculez $2\vec{A}+3\vec{B}-\vec{C}/2$

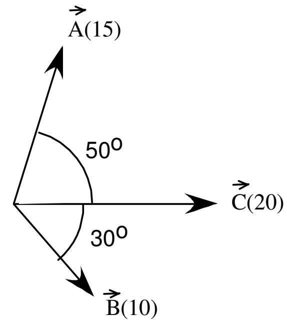


Figure 3

5. Un objet est en équilibre si la résultante des forces sur cet objet est nulle. Cet objet est soumis aux 3 forces de la figure 4. Quelle est la grandeur de la force $\vec{F}_3$ qui réalise l'équilibre?

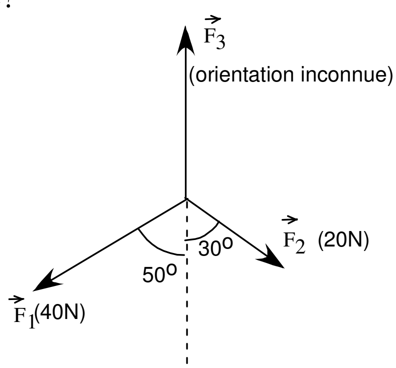


Figure 4

6. Un homme fait 10 km vers l'est, puis 50 km vers le nord, puis 40 km vers le sud-est.
   a) Quel est son déplacement total?
   b) Quelle distance totale a-t-il parcourue?

Réponses :

1. **a) 13,53 km, 12,8° avec l'axe des x+.**
   b) 9,43 km, 188° avec l'axe des x+.
   c) 12,85 km, 200° avec l'axe des x+.
   d) 18,8 km, 290° avec l'axe des x+.

2. **10,7 m, 15,5 ° avec l'axe des x+.**

3. **oui!**

4. a) 38,85 cm, 9,62° avec l'axe des x+.
b) 36,16 cm, 12,76° avec l'axe des x+.

5. 47,73 N

6. a) 44,01 km, à 29,56° au nord de l'est.
b) 100 km!