Méthodes d'étude et électrophysiologies jusqu'à l'ECG

Professeur **Tijani GHARBI**

tijani.gharbi@univ-fcomte.fr

September 26, 2011

Part I

Notions de base : forces, énergie, potentiel.

Notions de base: forces.

1. Qu'est ce qu'une force?
   - Définition
   - Il existe quatre forces fondamentales
2. Aspects mathématiques
   - Notions de vecteurs
   - Addition des vecteurs
   - Produit scalaire
3. L'Energie
   - En mécanique
4. Le potentiel
   - Expression mathématique du Potentiel
   - Conséquences

Sommaire

La force est la description quantitative de l'**interaction** entre **deux objets** physiques. Par exemple entre un objet et son environnement.

La force est la description quantitative de l'**interaction** entre **deux objets** physiques. Par exemple entre un objet et son environnement.

C'est un concept

La force est la description quantitative de l'**interaction** entre **deux objets** physiques. Par exemple entre un objet et son environnement.

C'est un concept

En mécanique: *On peut se faire une idée de la force en disant que c'est l'action mécanique qui tend à changer le mouvement d'un objet.*

La force est la description quantitative de l’**interaction** entre **deux objets** physiques. Par exemple entre un objet et son environnement.

C’est un concept

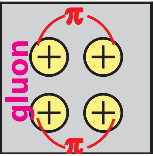
En mécanique: *On peut se faire une idée de la force en disant que c’est l’action mécanique qui tend à changer le mouvement d’un objet.*

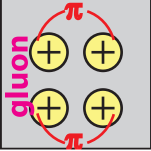
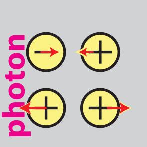
La force est la description quantitative de l'**interaction** entre **deux objets** physiques. Par exemple entre un objet et son environnement.

C'est un concept

En mécanique: *On peut se faire une idée de la force en disant que c'est l'action mécanique qui tend à changer le mouvement d'un objet.*

Nous appellerons **force**, la grandeur physique qui modélise l'action subie par la bille.

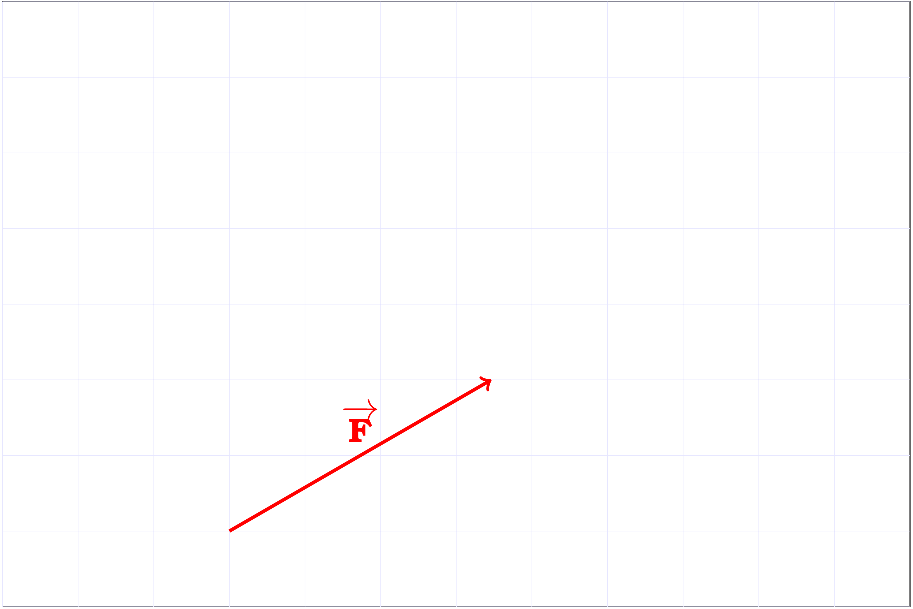
Interaction	Médiateur	Intensité	Portée	
Forte		1	10^{-15} m	$1/r^7$

Interaction	Médiateur	Intensité	Portée	
Forte		**1**	**10^{-15} m**	**$1/r^7$**
Electro		**10^{-2}**	**∞**	**$1/r^2$**

Interaction	Médiateur	Intensité	Portée	
Forte	gluon	1	10^{-15} m	$1/r^7$
Electro	photon	10^{-2}	∞	$1/r^2$
Faible nucléaire	Bosons	10^{-13}	10^{-18}	r^{-5} à r^{-7}

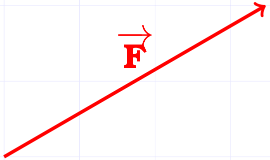
Interaction	Médiateur	Intensité	Portée	
Forte	gluon	1	10^{-15} m	$1/r^7$
Electro	photon	10^{-2}	∞	$1/r^2$
Faible nucléaire	Bosons	10^{-13}	10^{-18}	r^{-5} à r^{-7}
Gravit	m m	10^{-38}	∞	r^{-2}

Sommaire


$\overrightarrow{\mathbf{F}}$

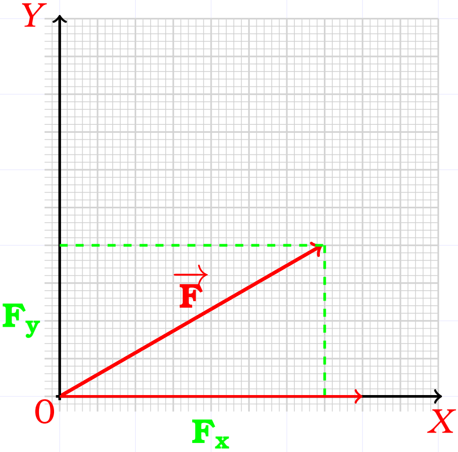
La force est un vecteur $\overrightarrow{\mathbf{F}}$.
Ce vecteur est Caractérisé par:

- son intensité.
- son sens.
- sa direction.



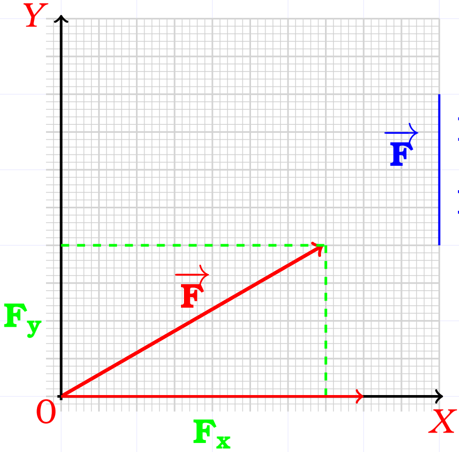
La force est un vecteur $\overrightarrow{\mathbf{F}}$.
Ce vecteur est Caractérisé par:

- son intensité.
- son sens.
- sa direction.

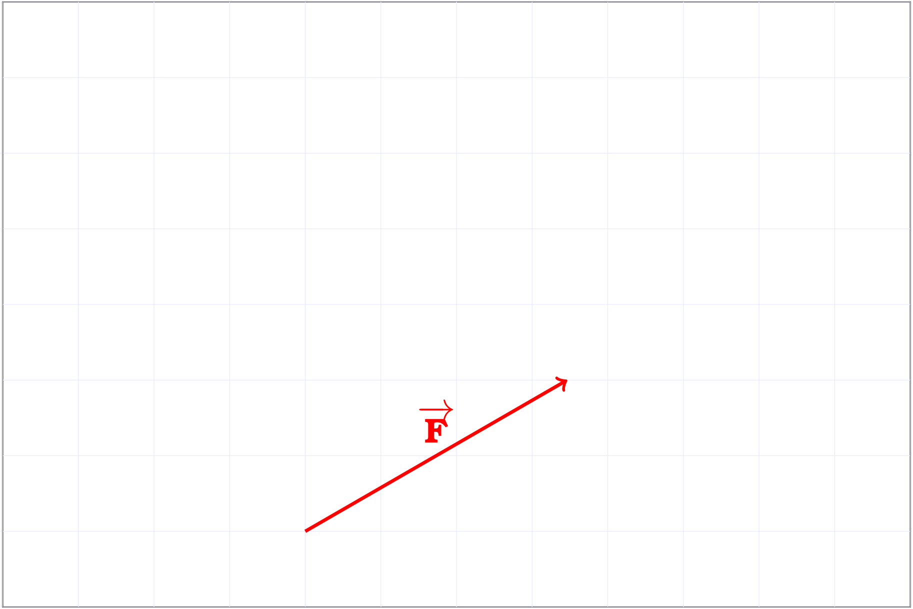


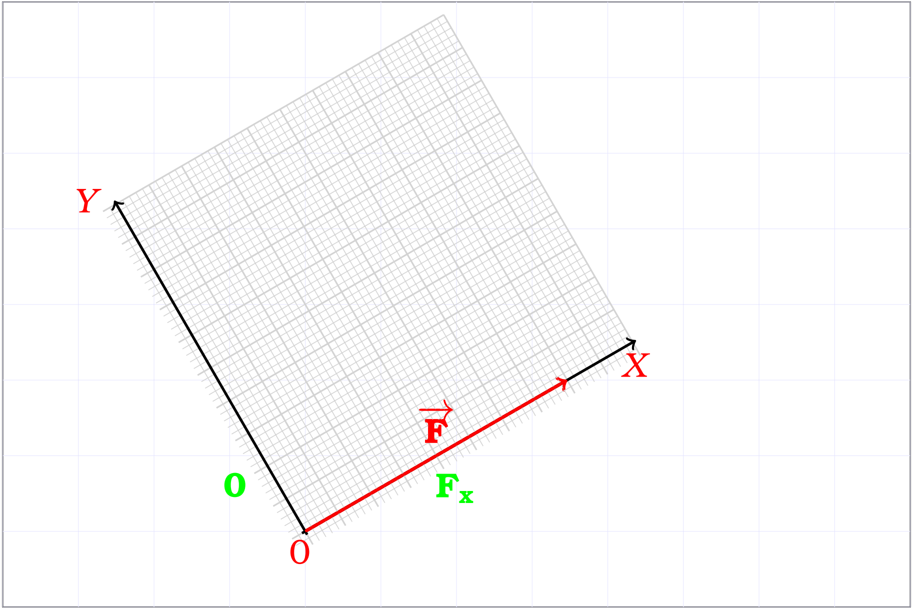
La force est un vecteur $\vec{\mathbf{F}}$.
Ce vecteur est Caractérisé par:

- son intensité.
- son sens.
- sa direction.

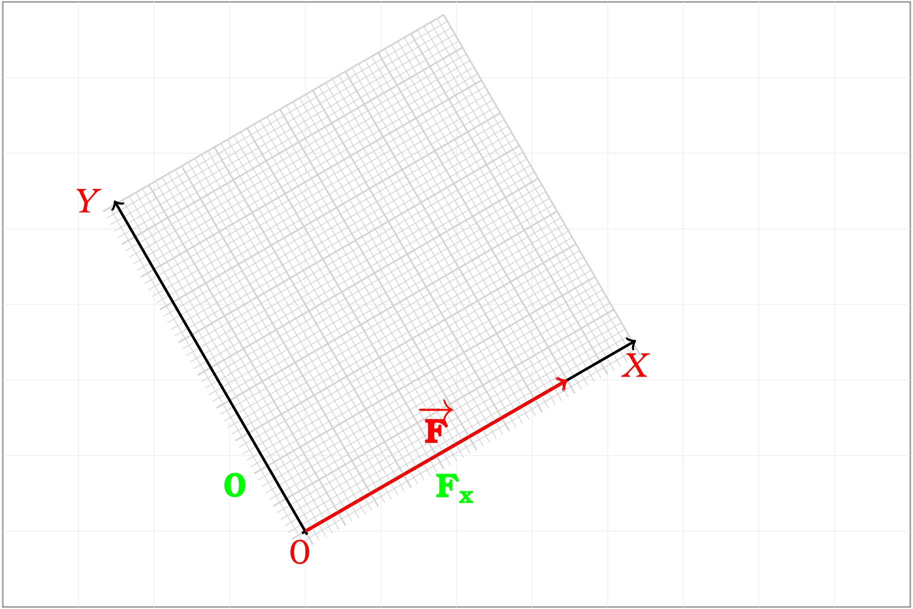


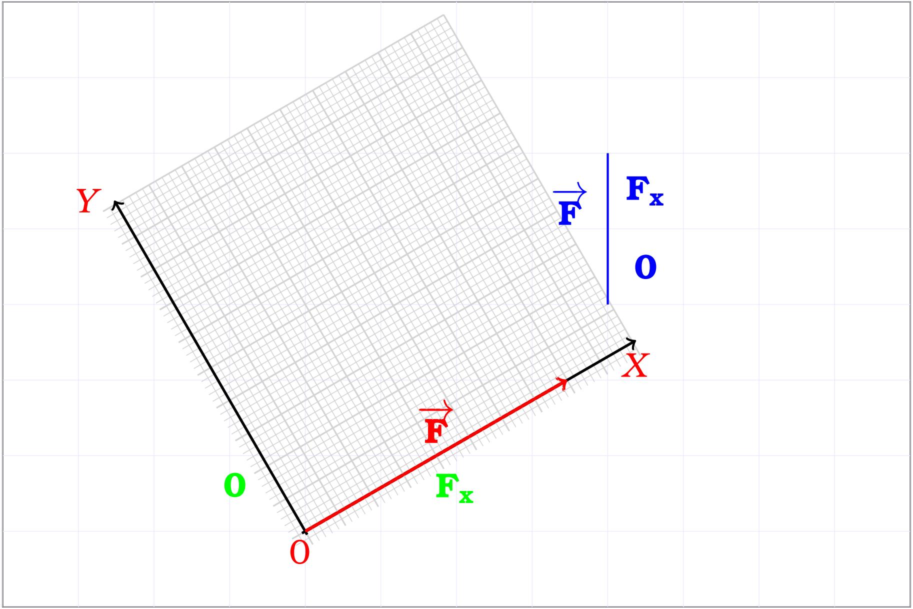
$\vec{\mathbf{F}} \left| \begin{array}{l} \mathbf{F_x} \\ \mathbf{F_y} \end{array} \right.$

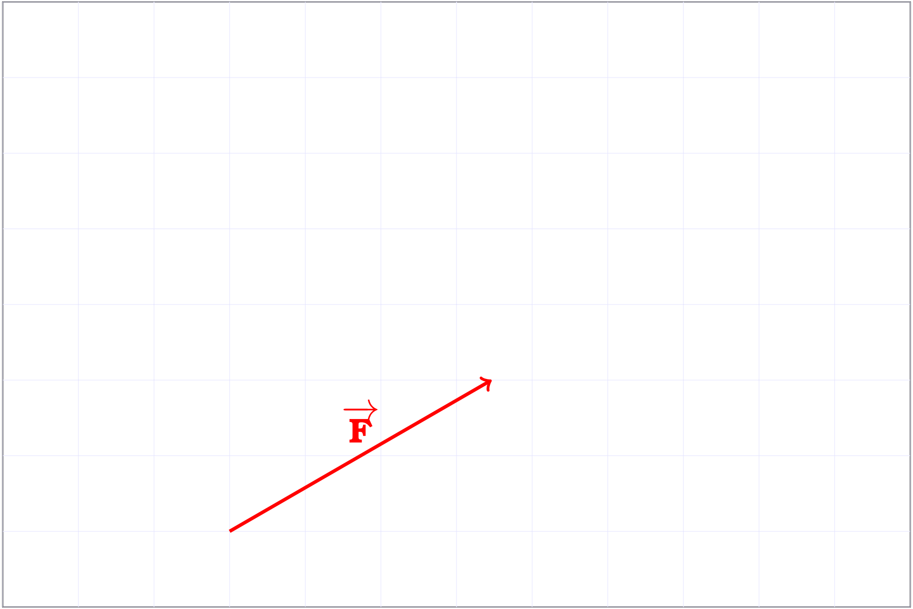

$\overrightarrow{\mathbf{F}}$

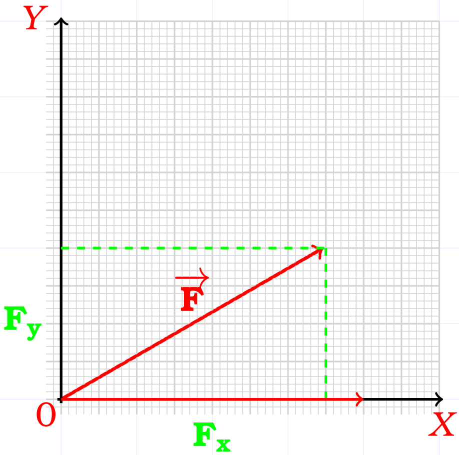


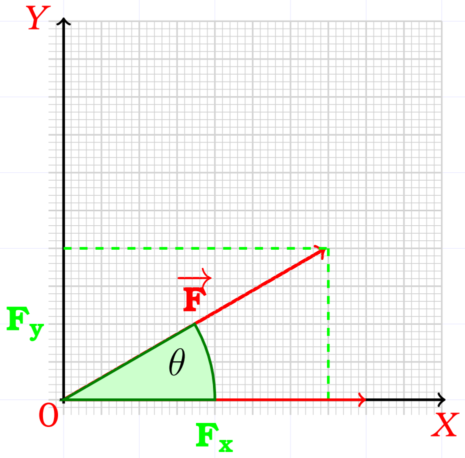
Y
X
$\overrightarrow{\mathbf{F}}$
0
$\mathbf{F_x}$
O


Y
X
$\overrightarrow{\mathbf{F}}$
0
$\mathbf{F_x}$
O


Y
$\overrightarrow{\mathbf{F}}$
$\mathbf{F_x}$
0
X
$\overrightarrow{\mathbf{F}}$
0
$\mathbf{F_x}$
O

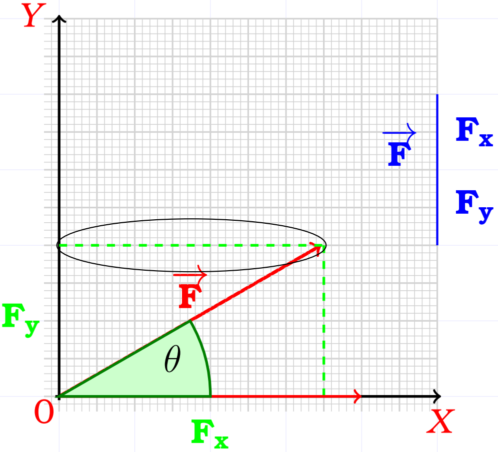

$\overrightarrow{\mathbf{F}}$


Y
$\overrightarrow{\mathbf{F}}$
$\mathbf{F_y}$
O
$\mathbf{F_x}$
X



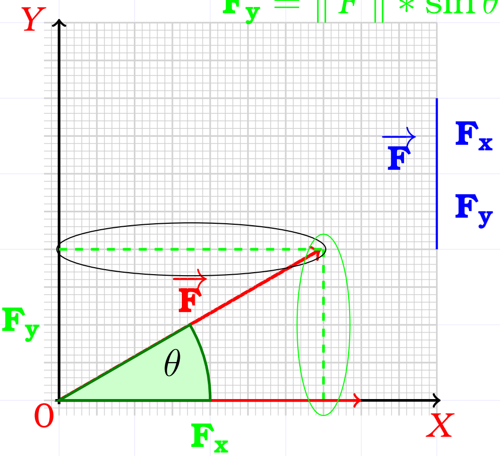
Y
$\overrightarrow{\mathbf{F}}$
$\mathbf{F_y}$
θ
O
$\mathbf{F_x}$
X

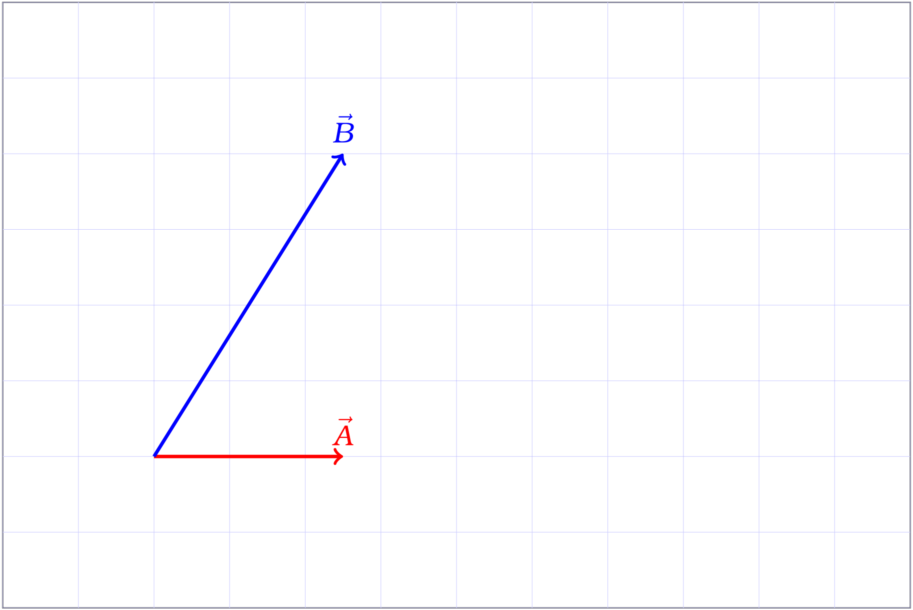
$$\mathbf{F_x} = \|\overrightarrow{F}\| * \cos\theta$$

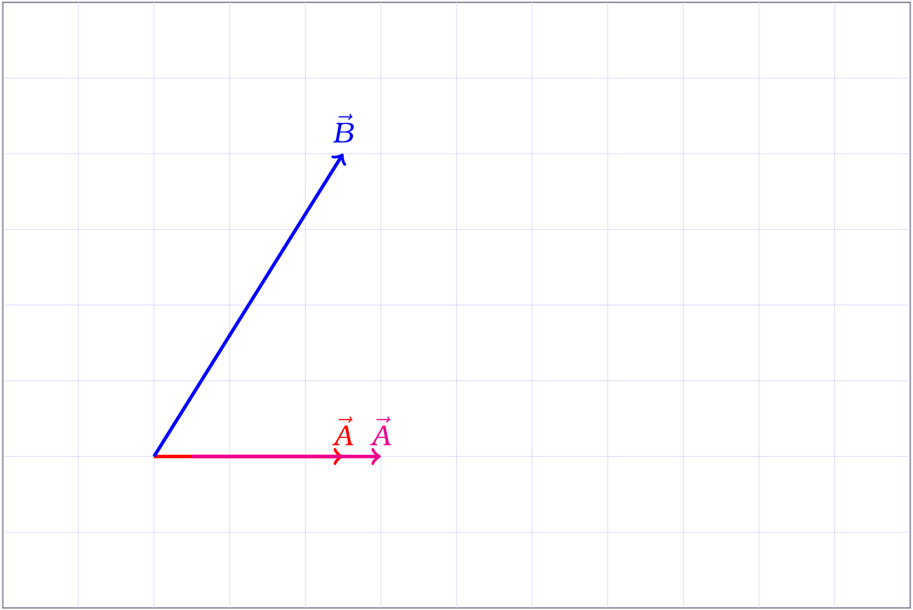


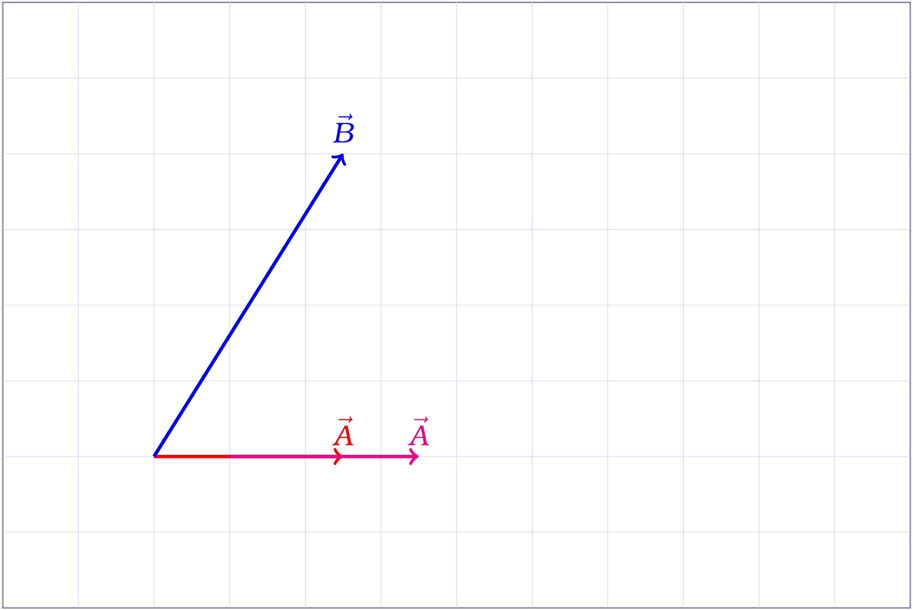
$$\mathbf{F_x} = \|\overrightarrow{F}\| * \cos\theta$$

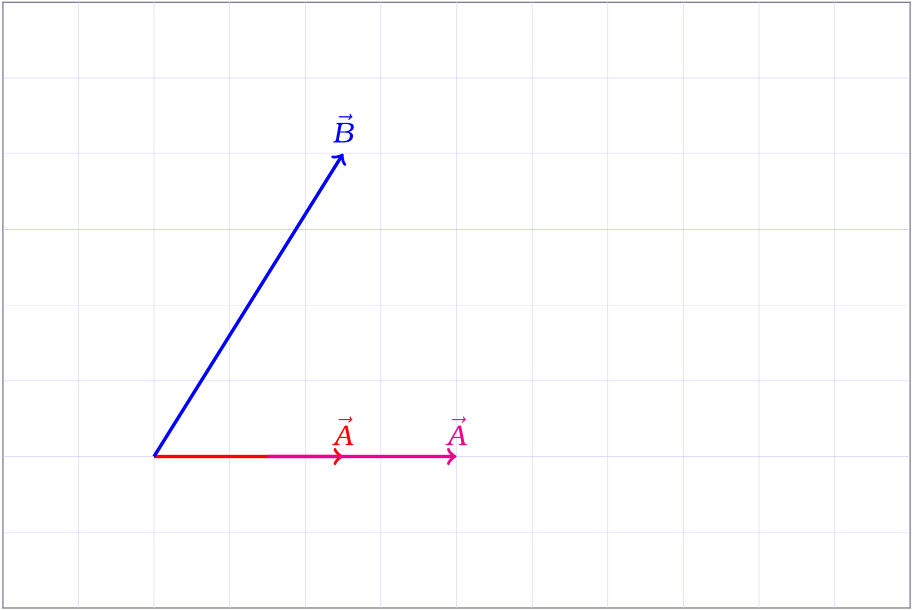
$$\mathbf{F_y} = \|\overrightarrow{F}\| * \sin\theta$$

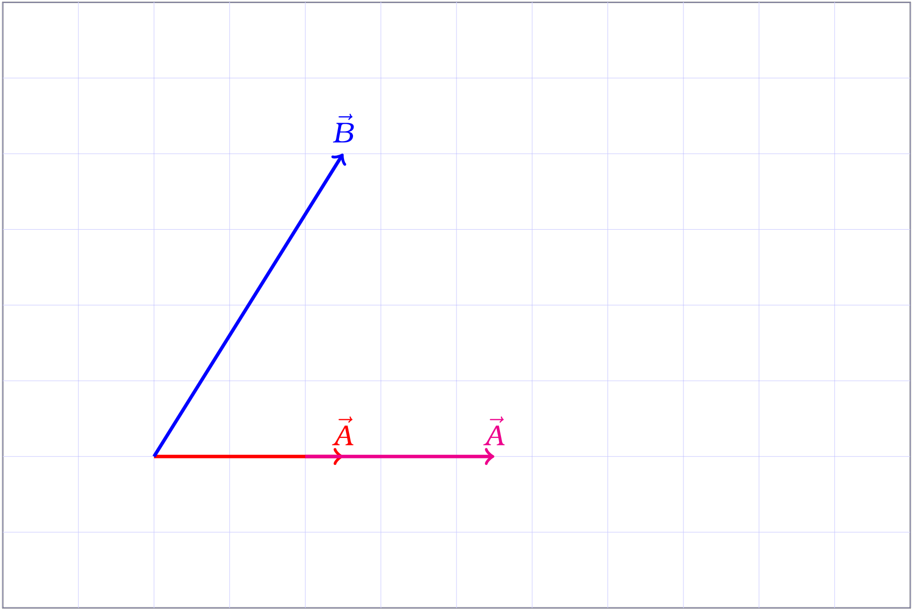


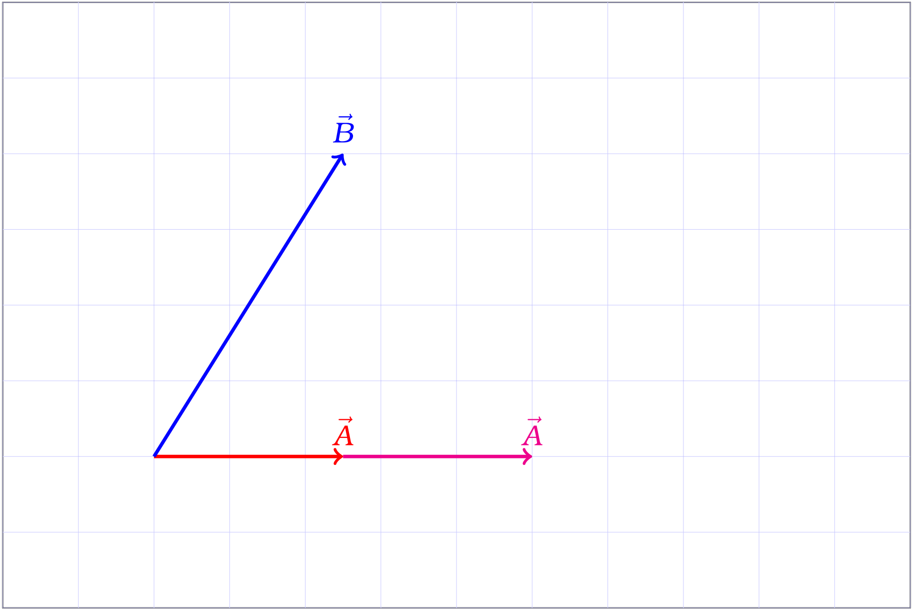

$\vec{B}$
$\vec{A}$

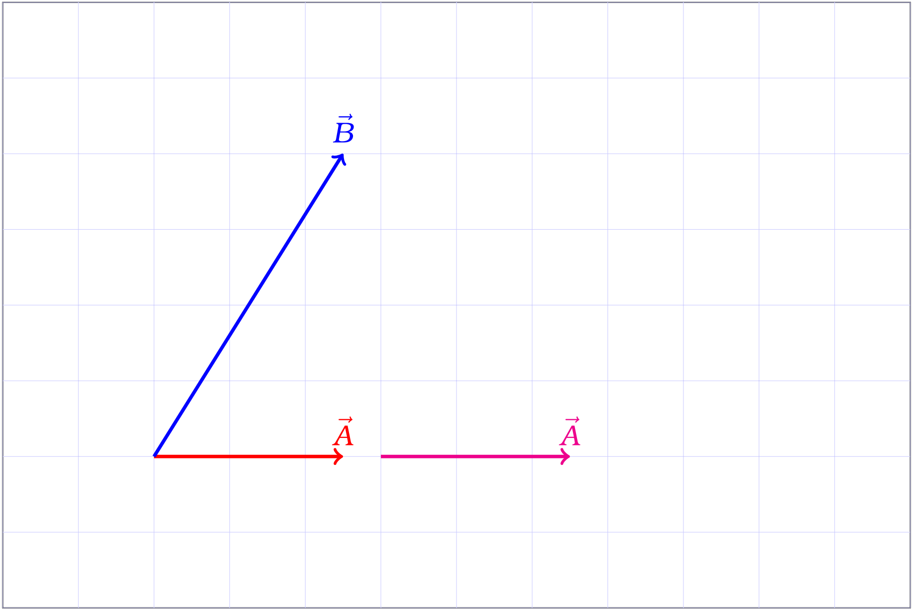

$\vec{B}$
$\vec{A}$ $\vec{A}$

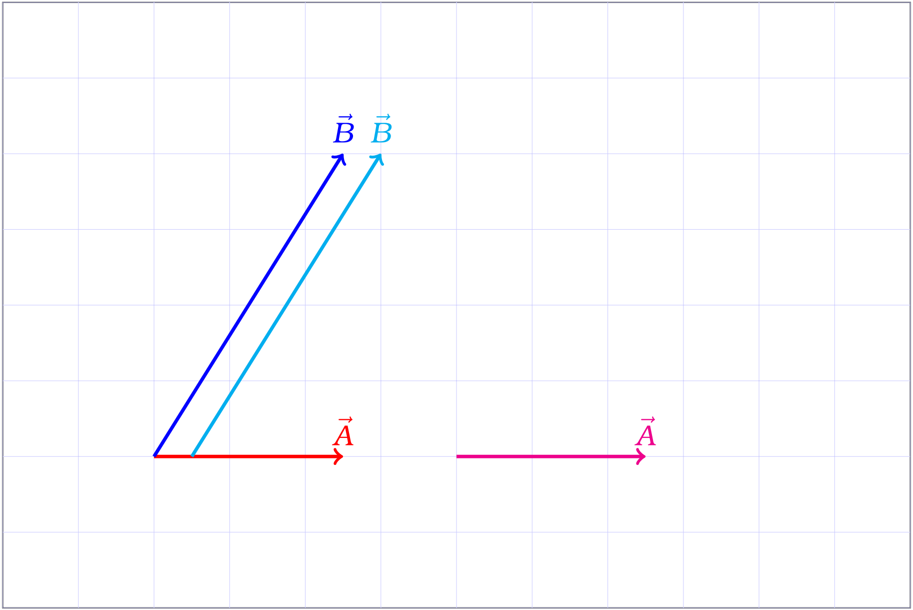

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$


$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

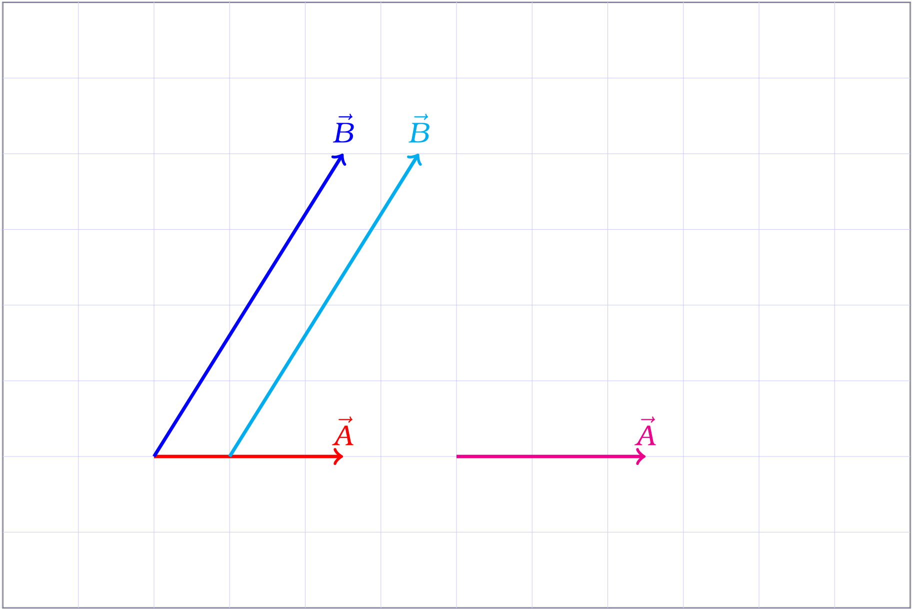

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

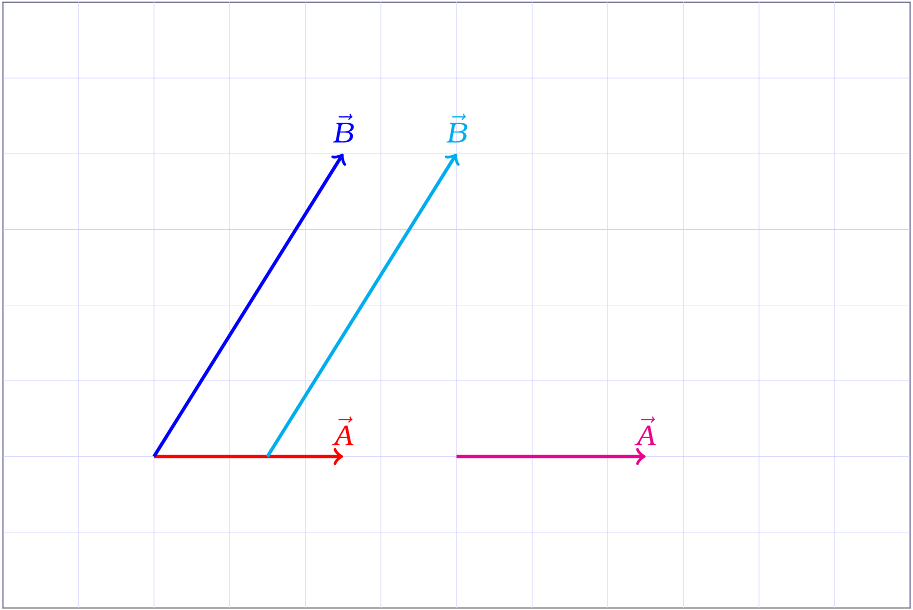

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

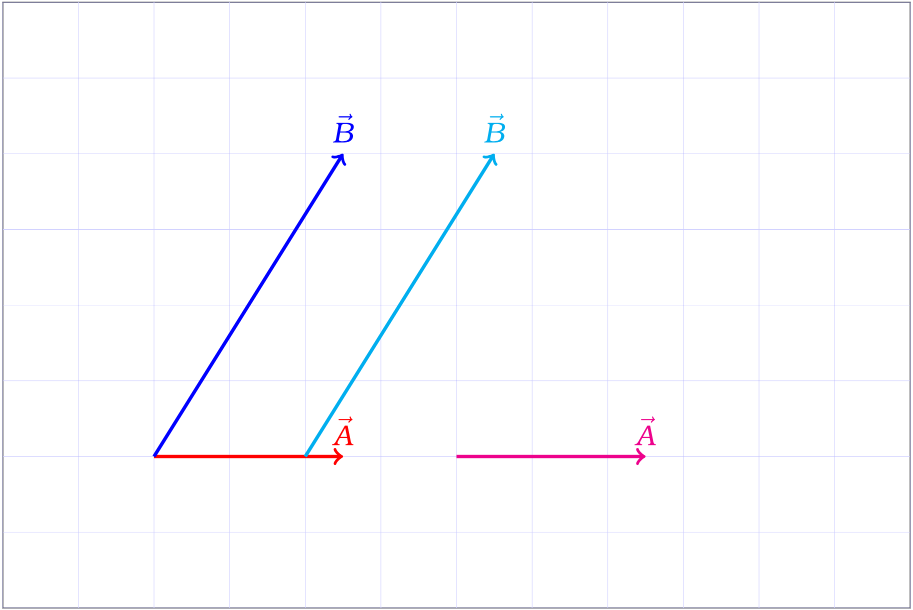

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

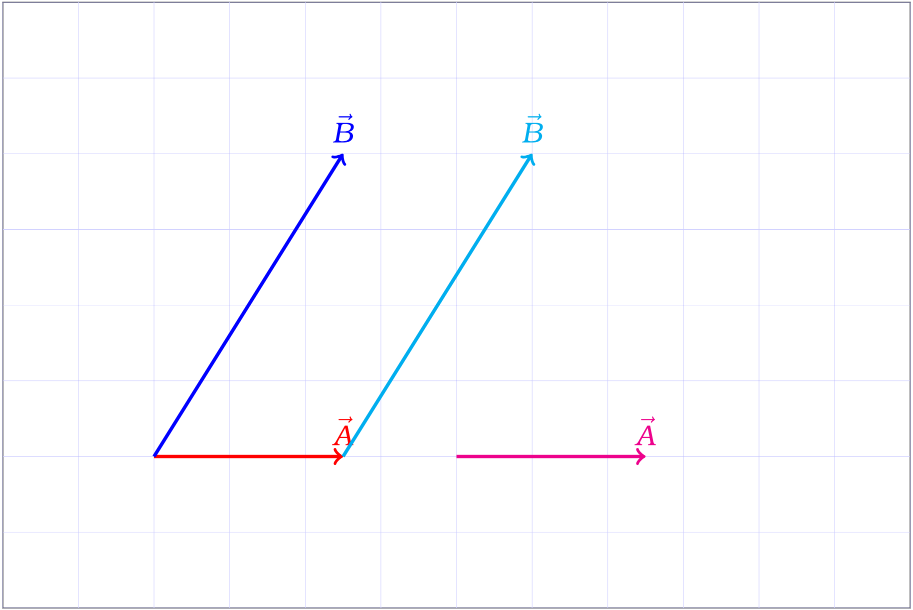


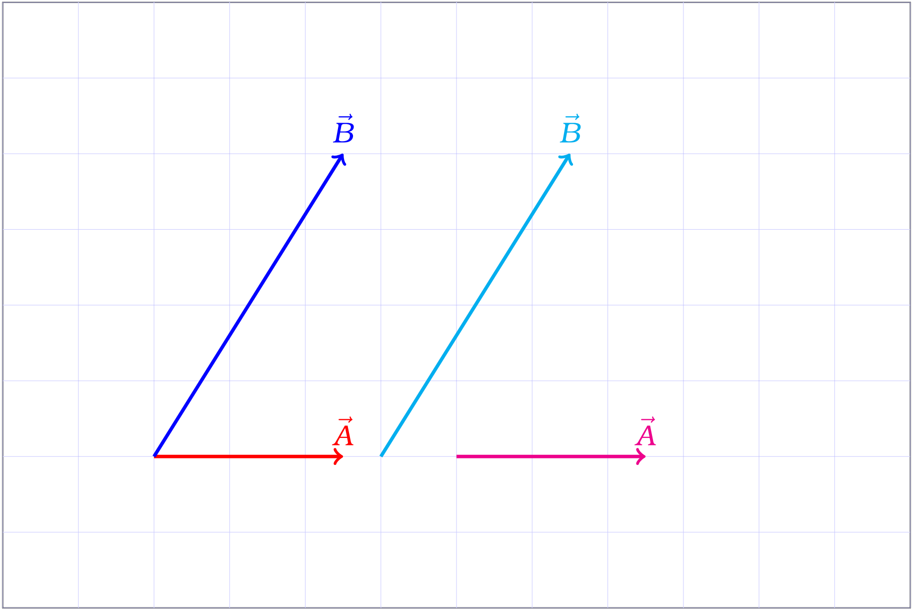
$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

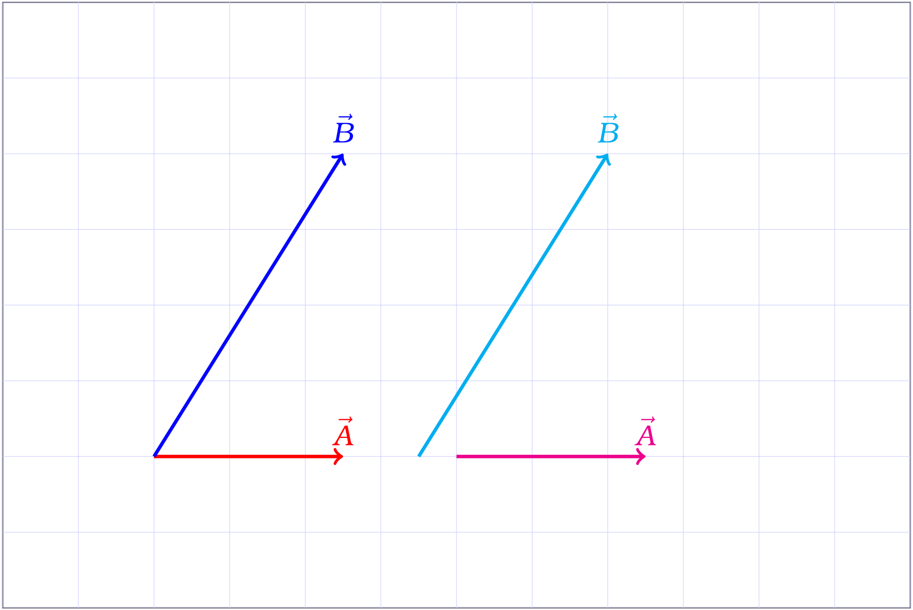

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

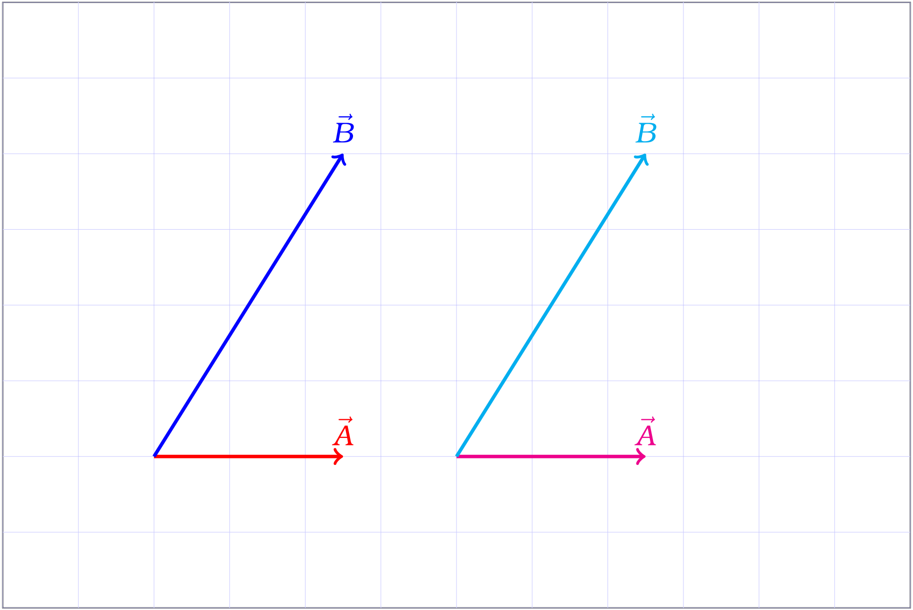

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

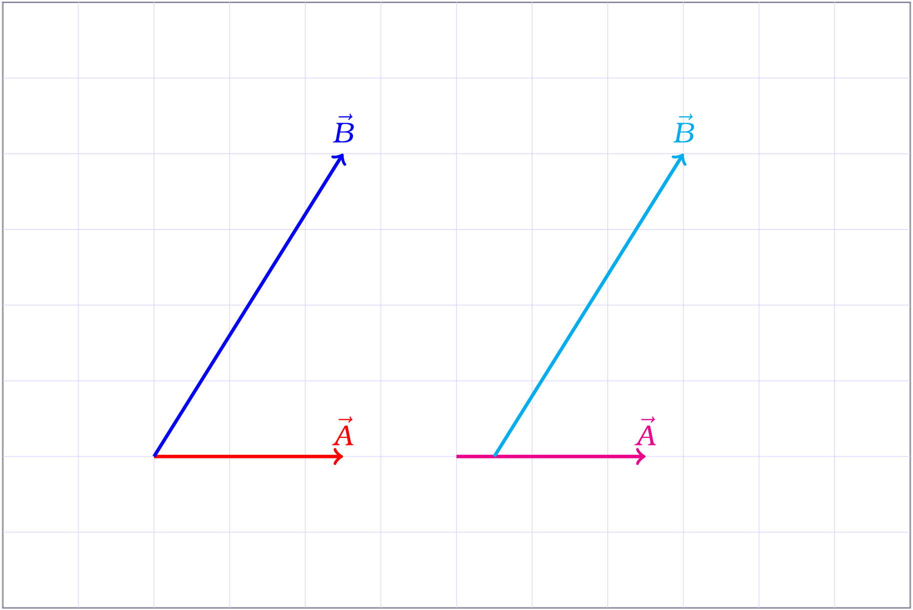

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

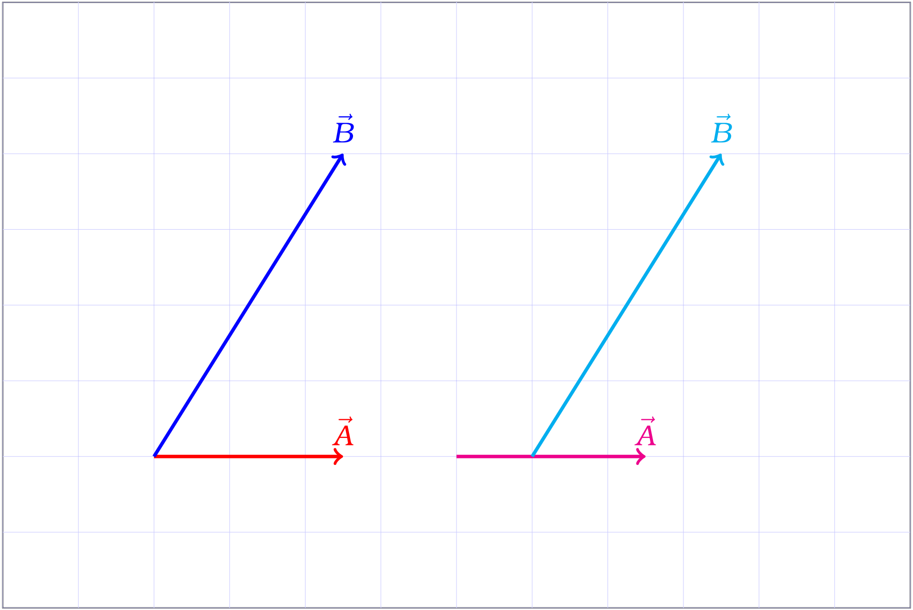

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

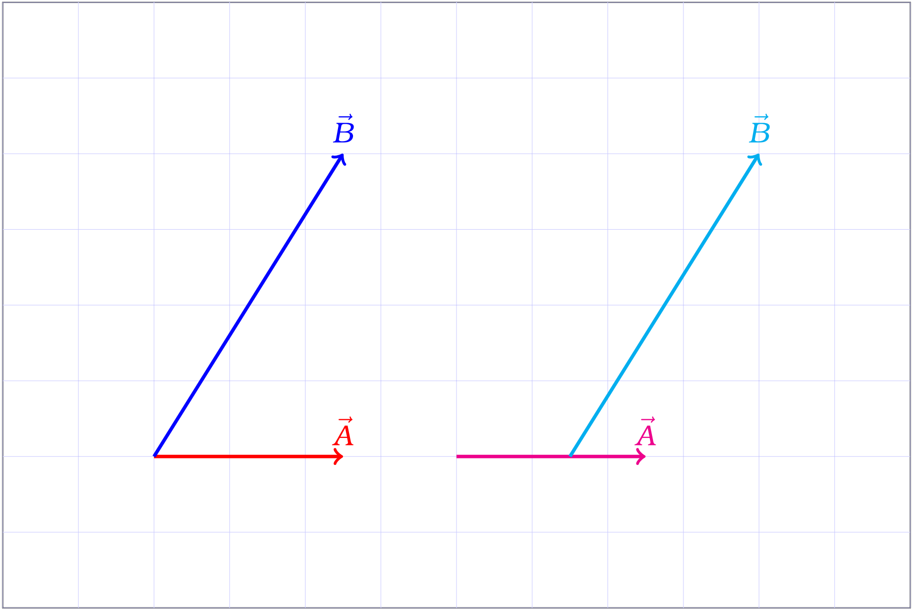

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

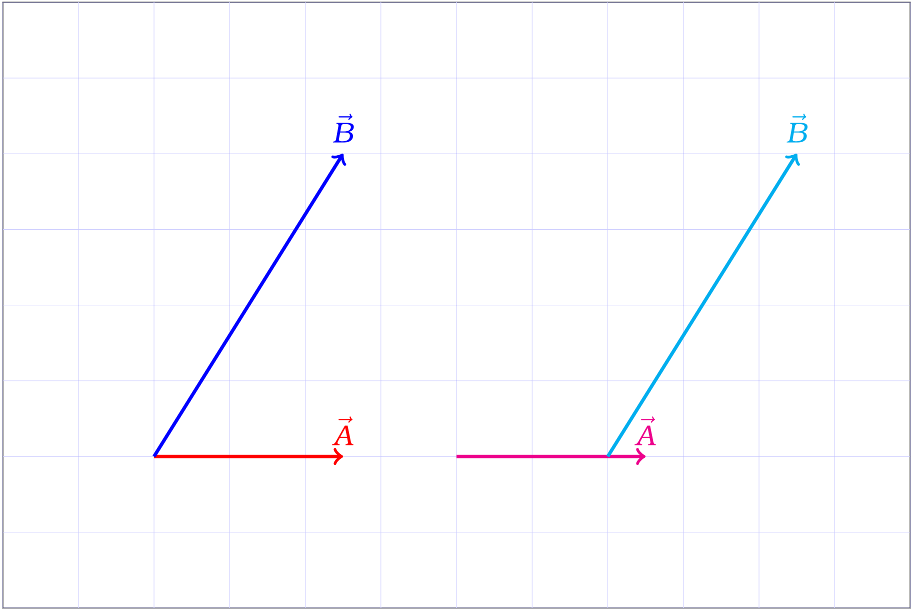

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

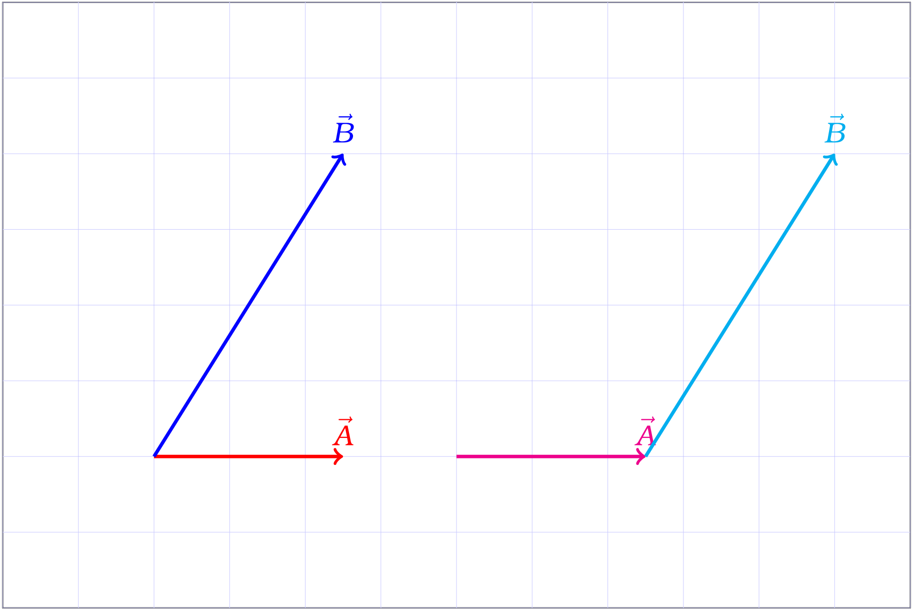

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

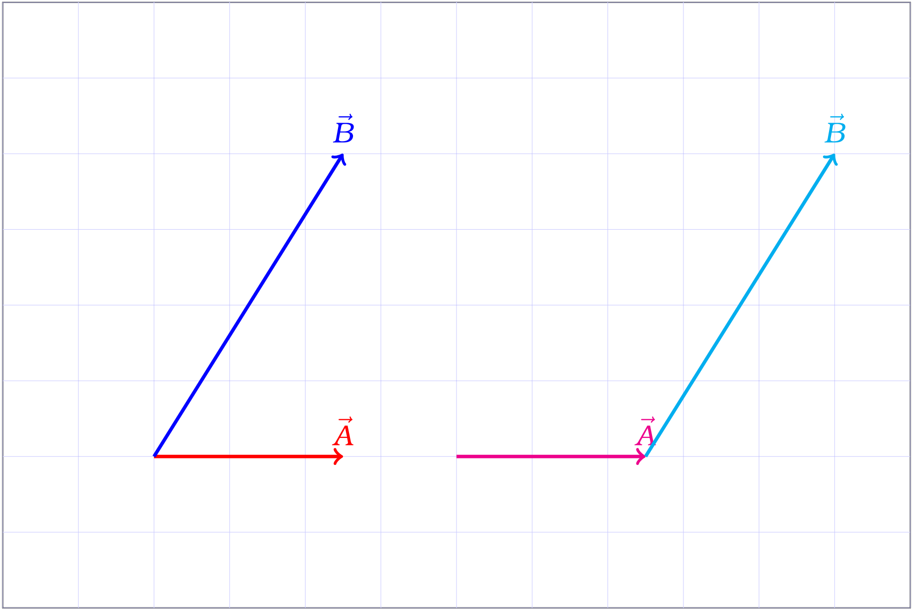

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$

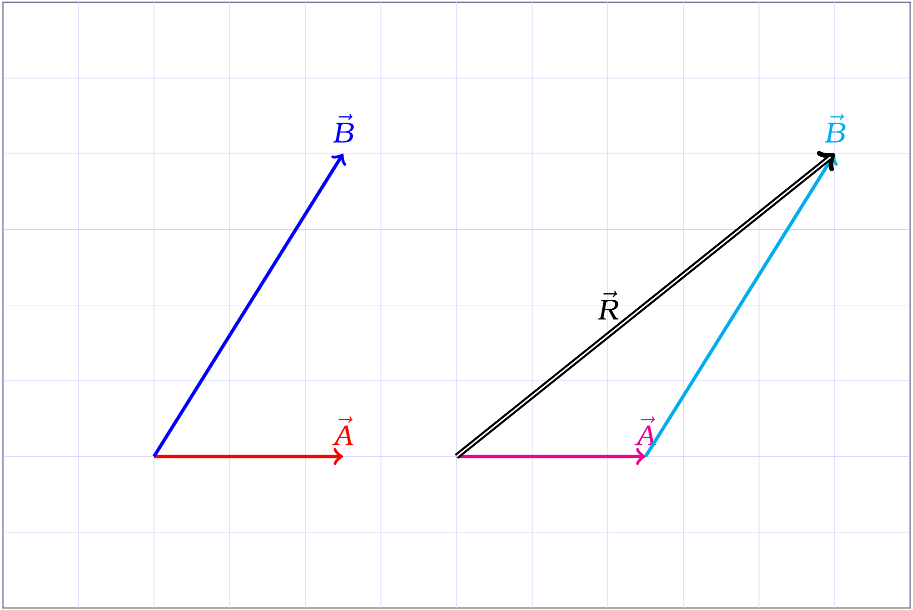

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

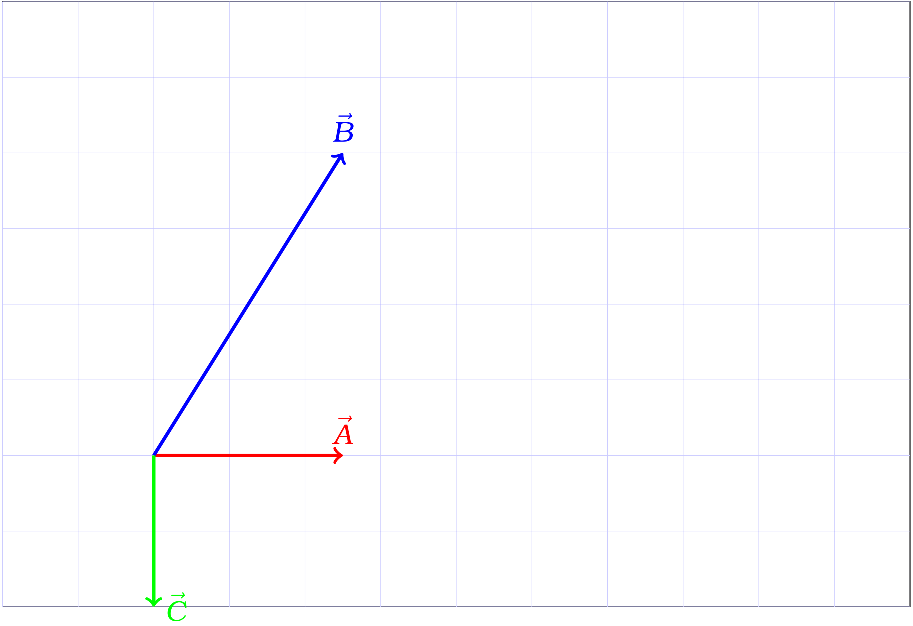

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

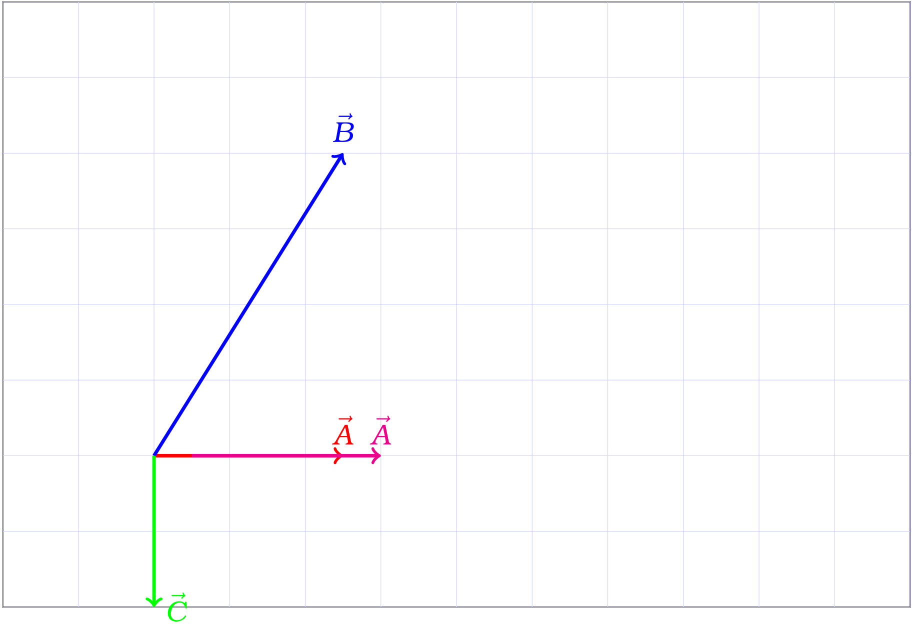

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

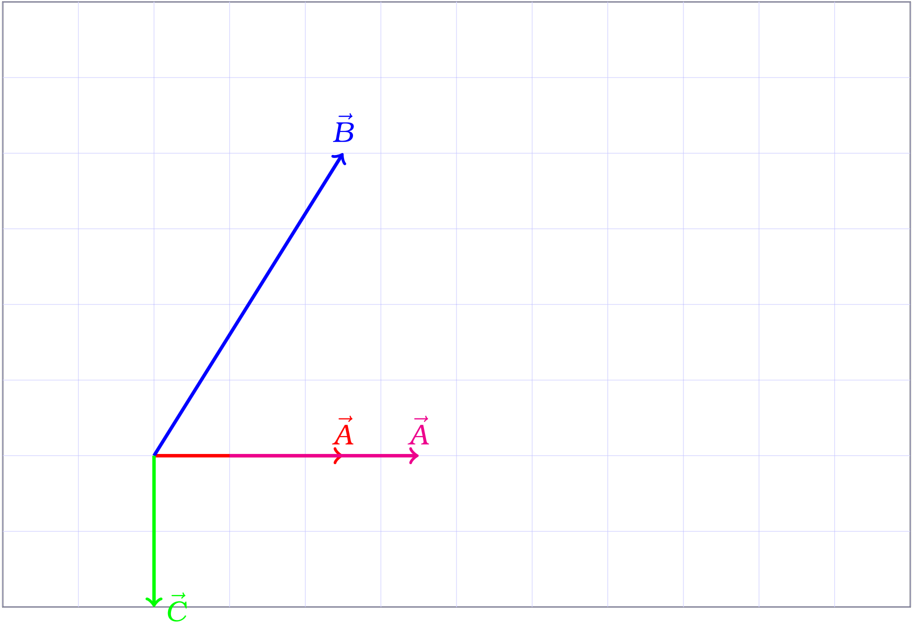

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

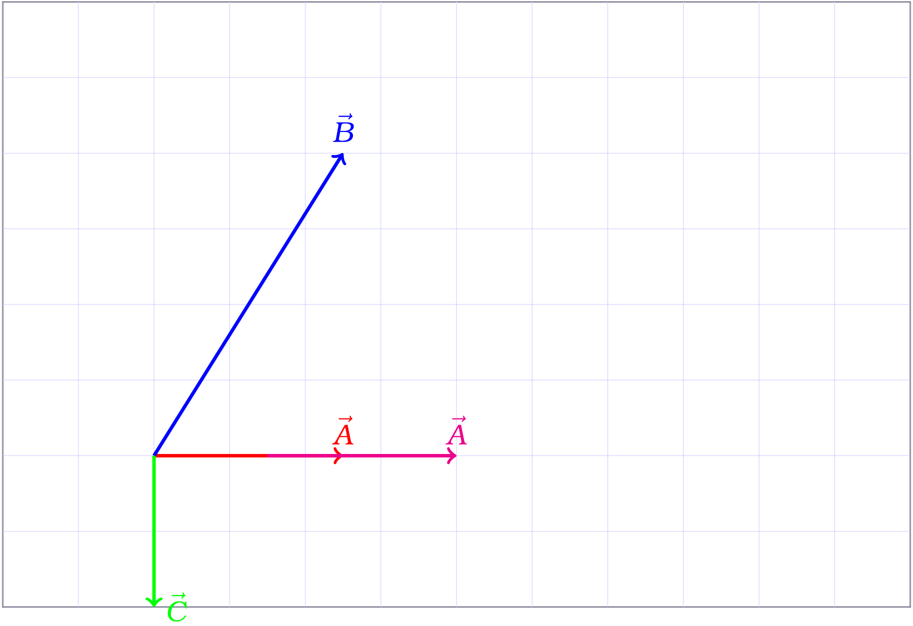

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

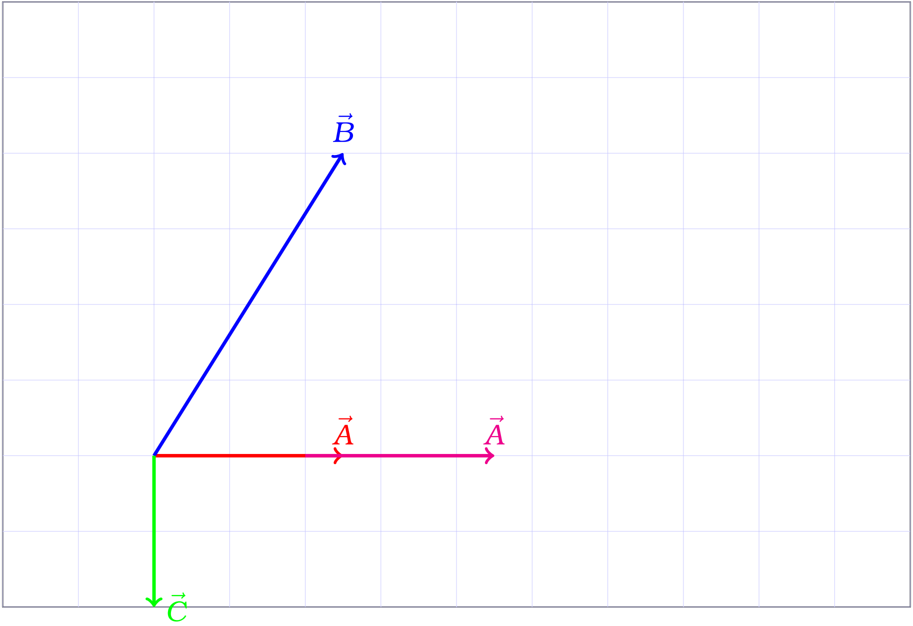

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{B}$
$\vec{R}$
$\vec{A}$

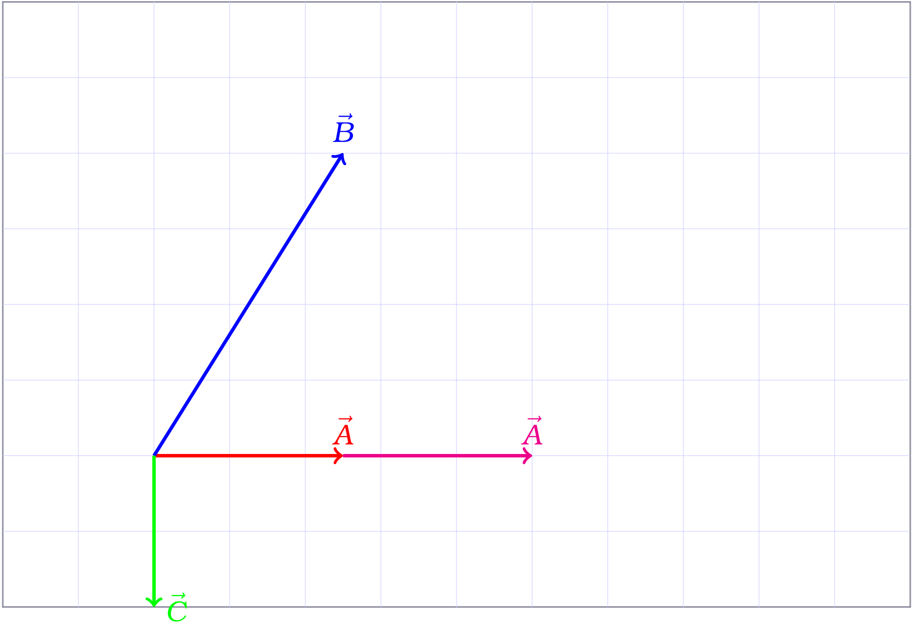

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

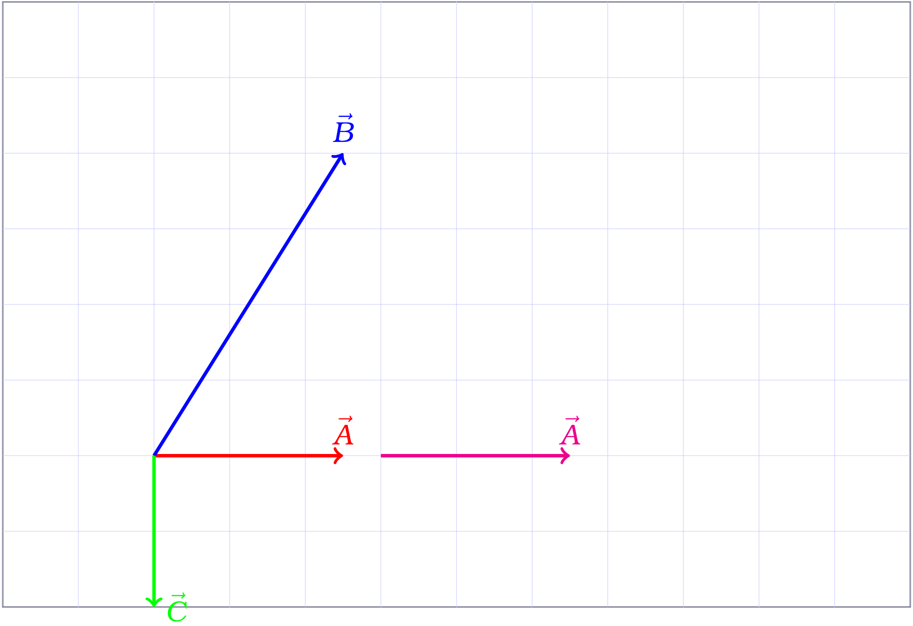

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

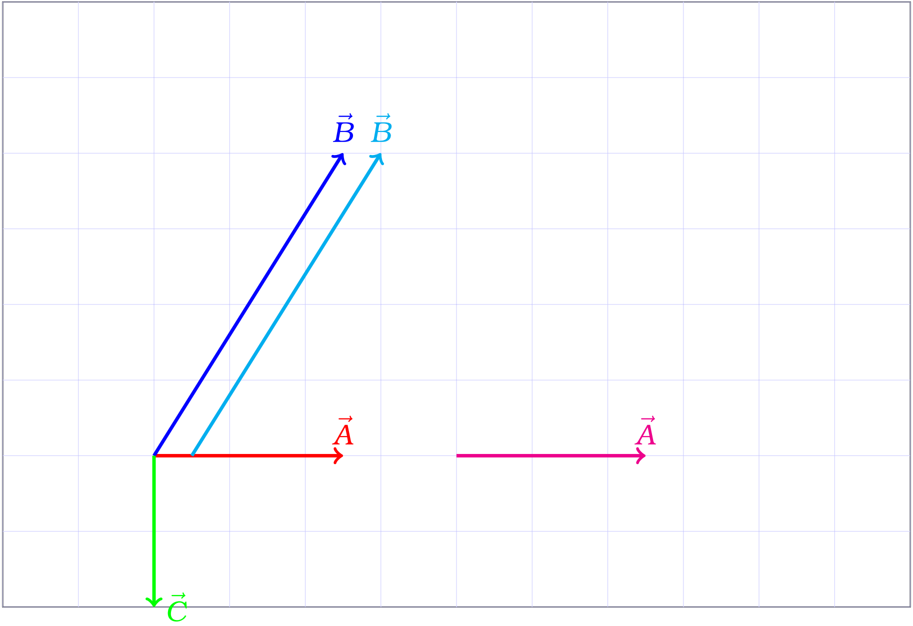

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

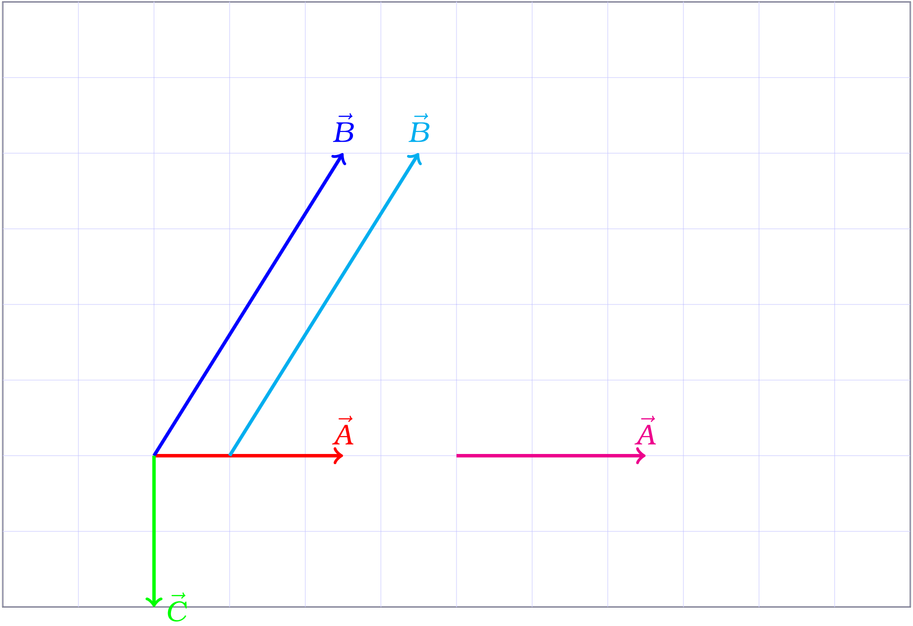

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

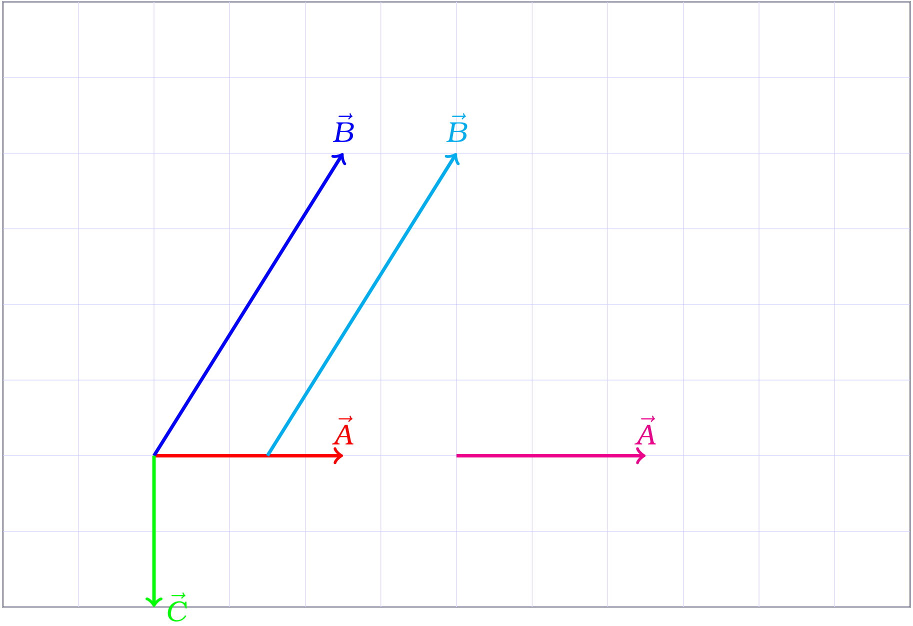

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

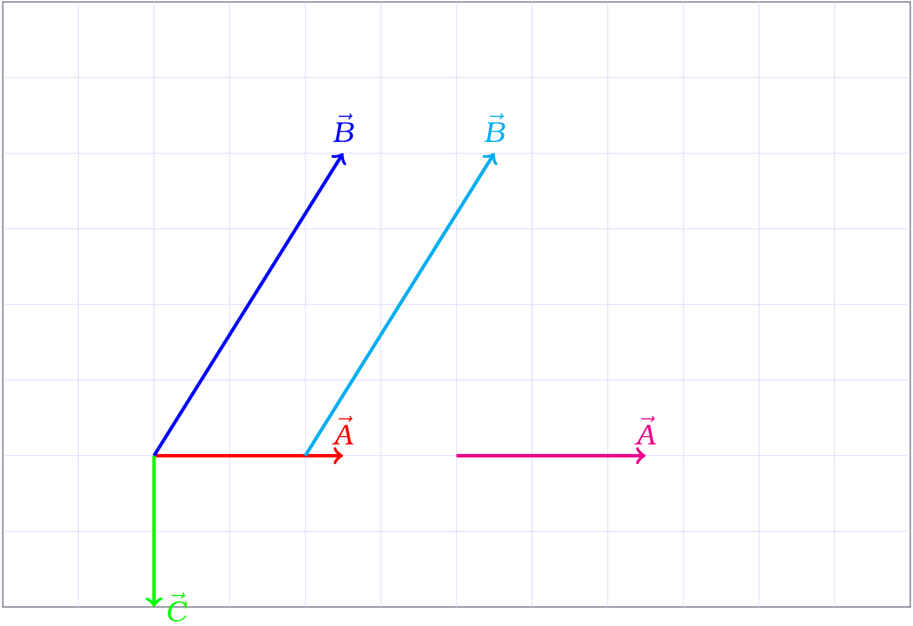

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

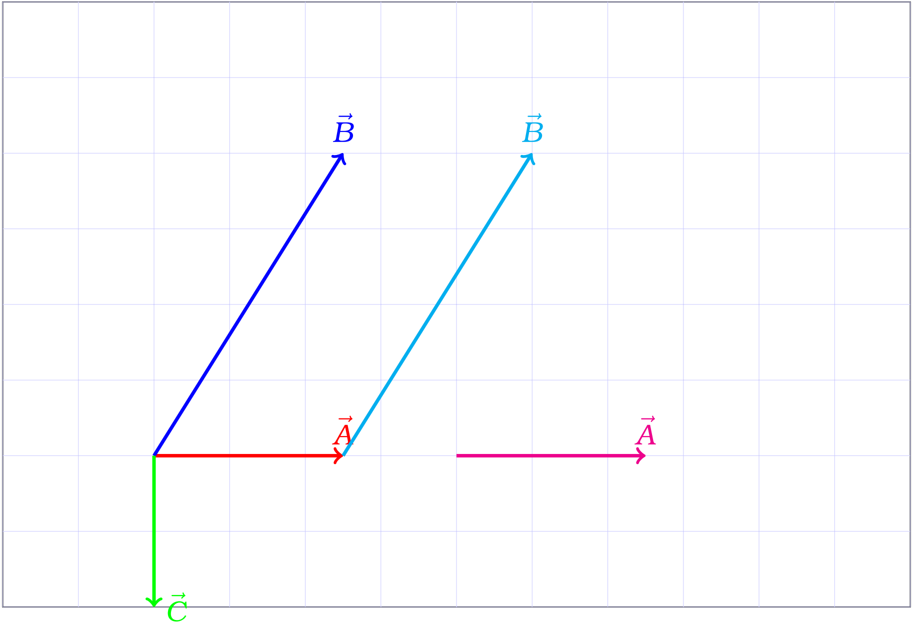

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

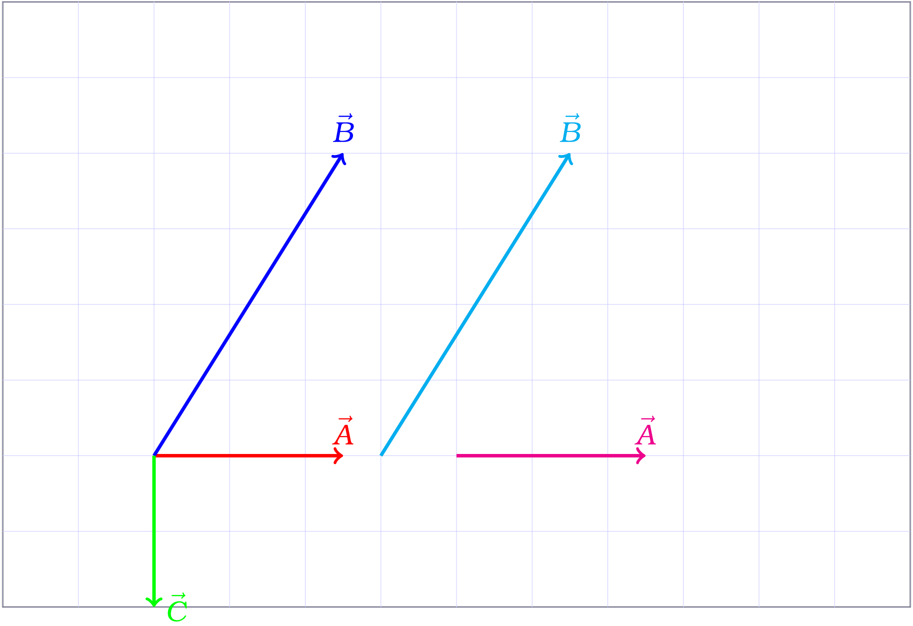

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

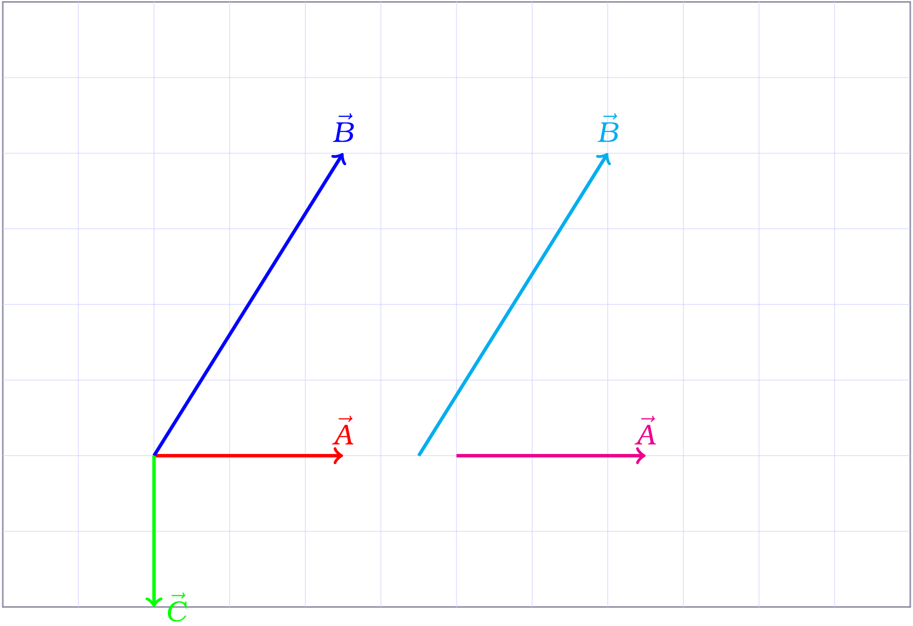

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

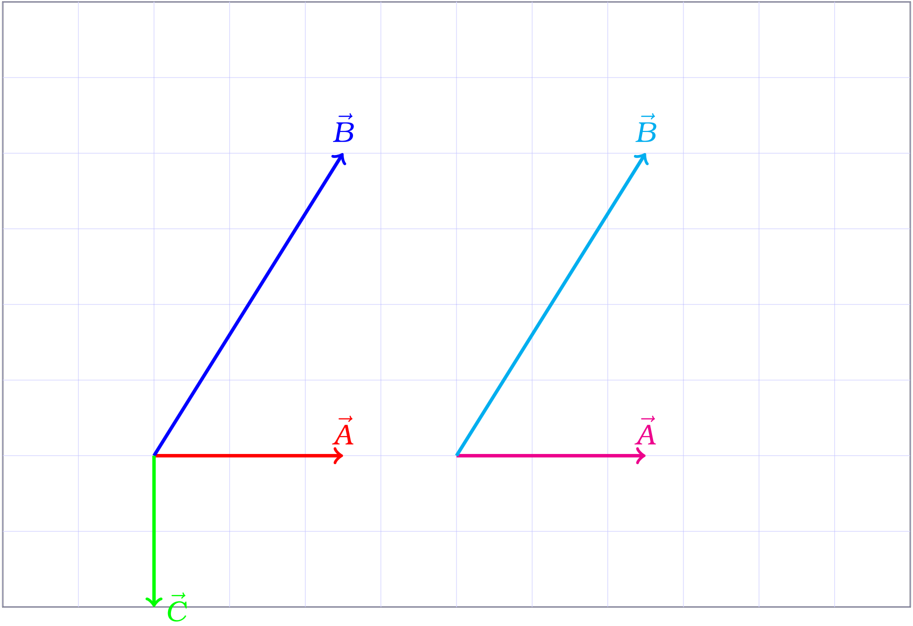

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

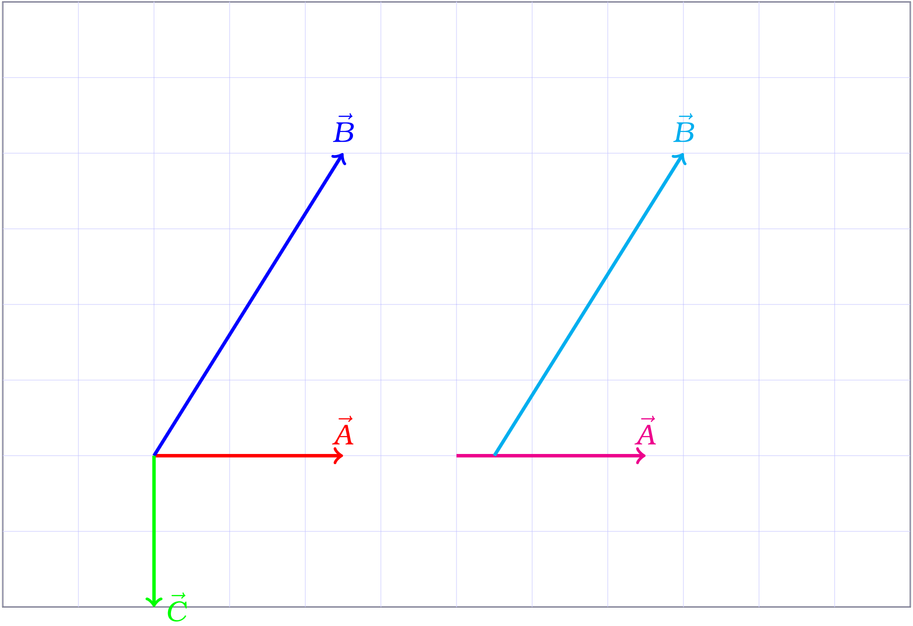

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

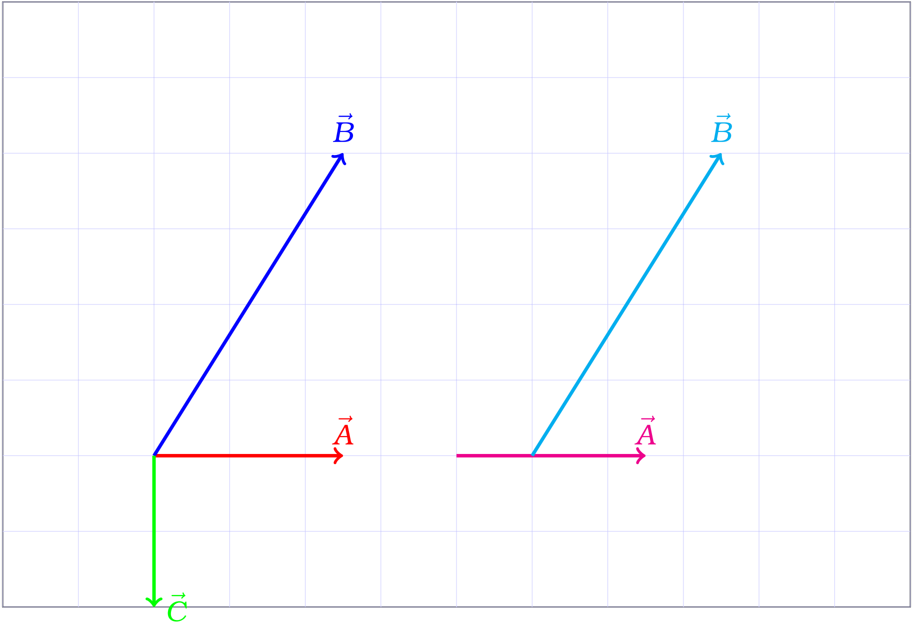

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

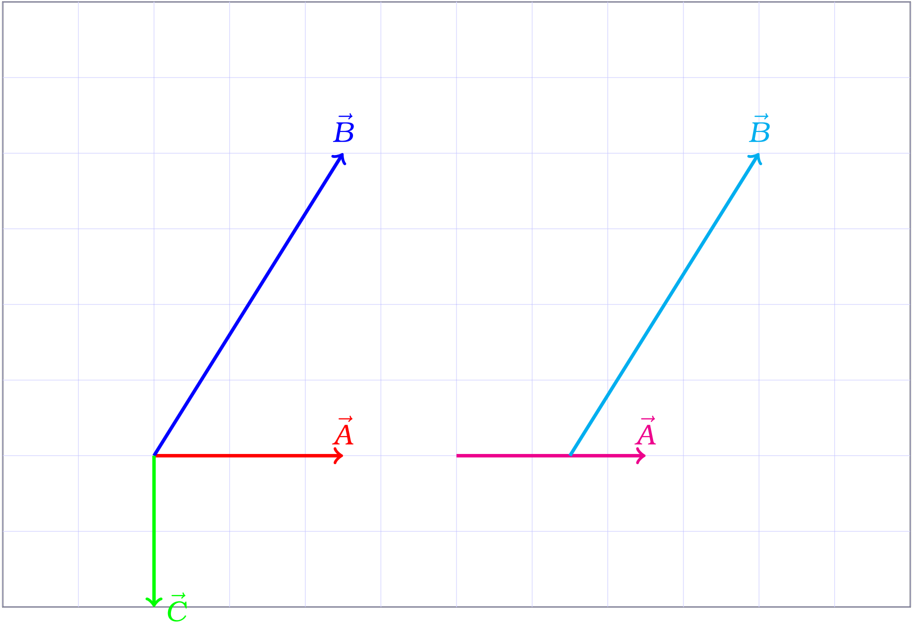

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

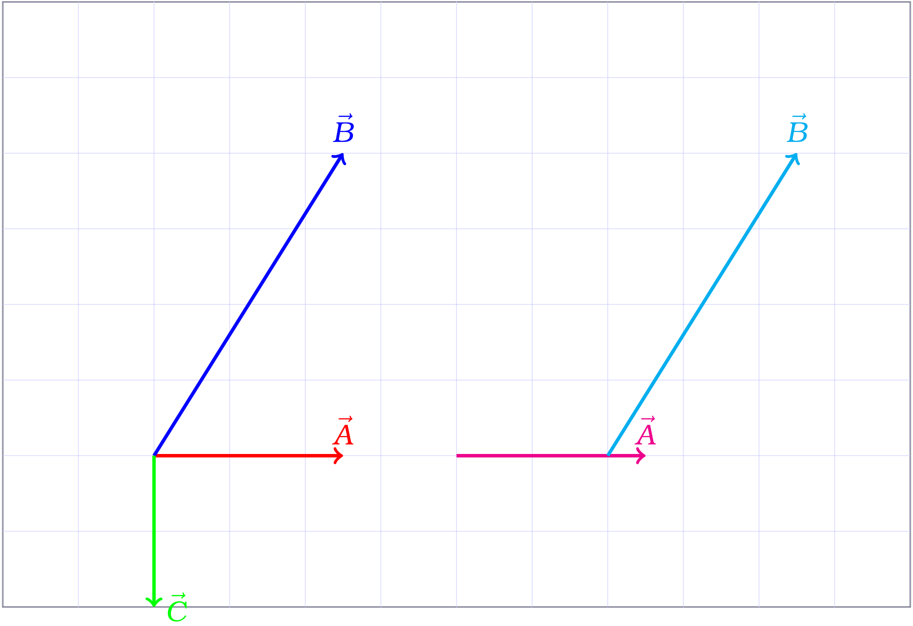

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

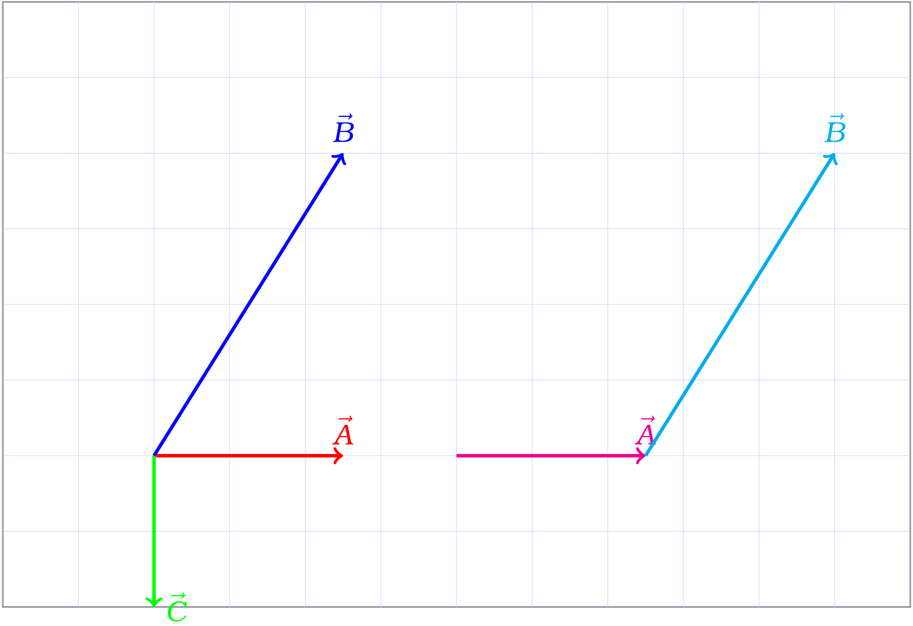

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

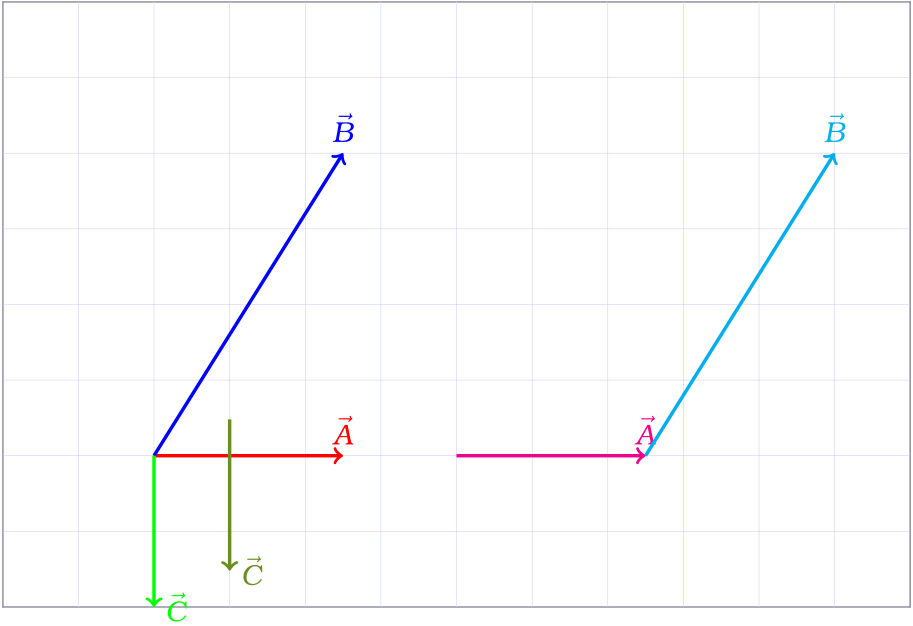

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

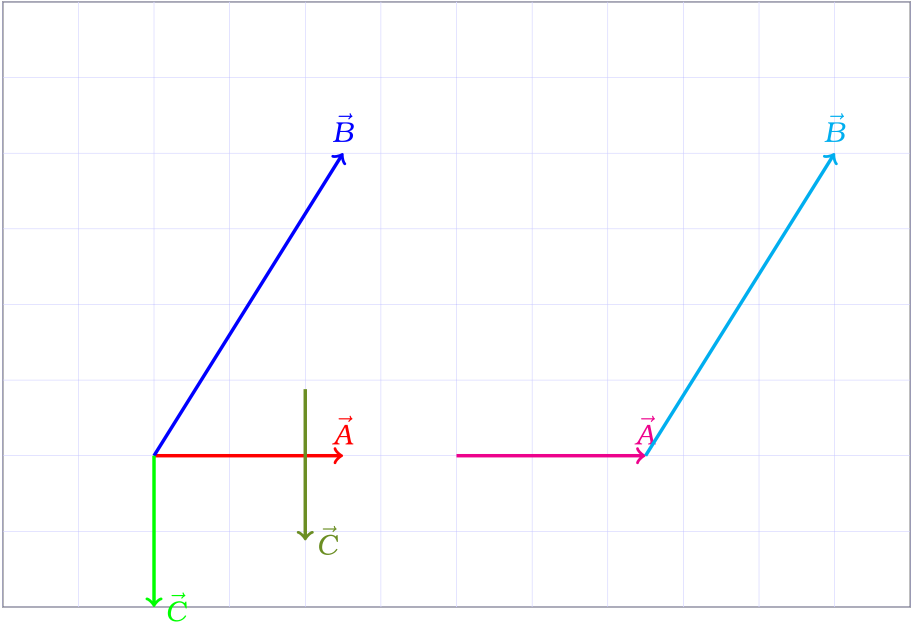

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$


$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

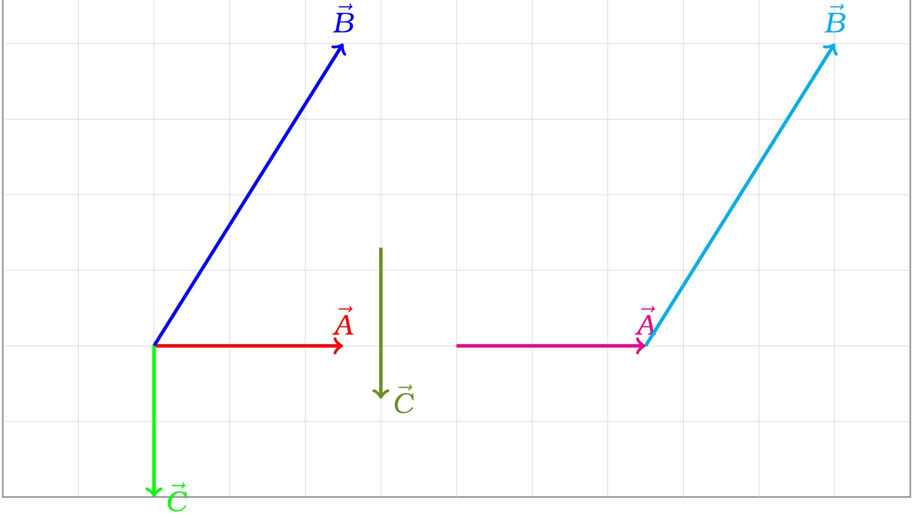

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

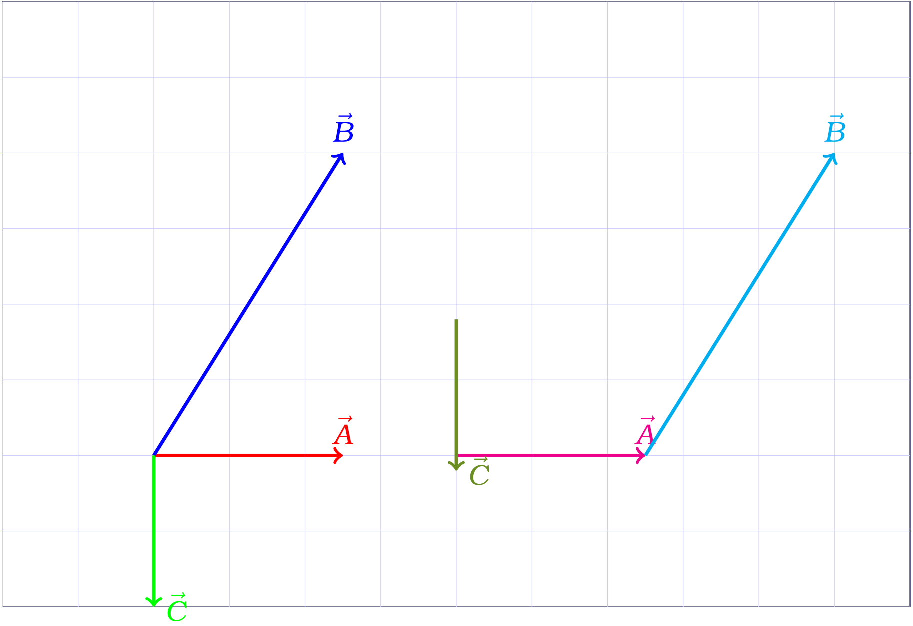

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$

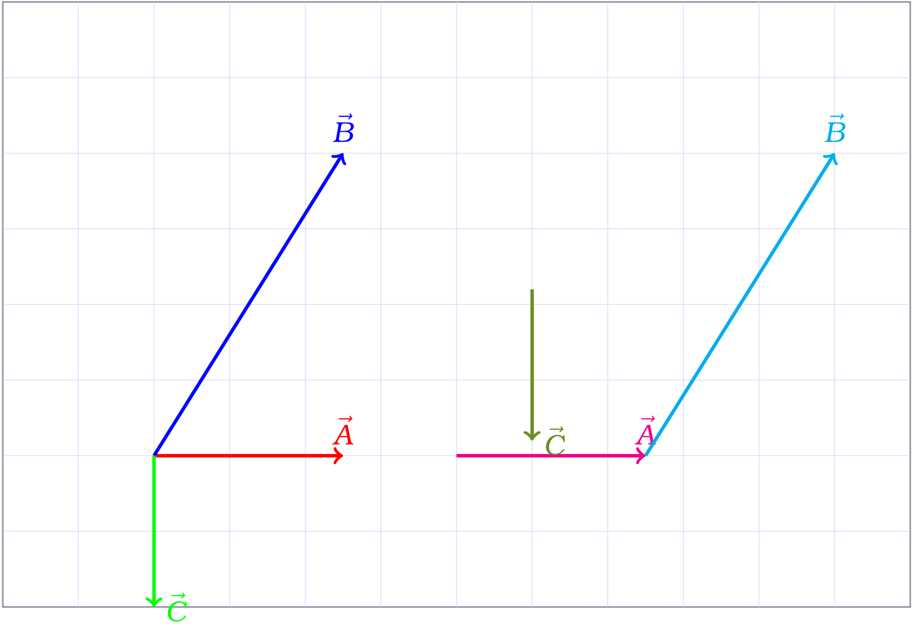

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{C}$

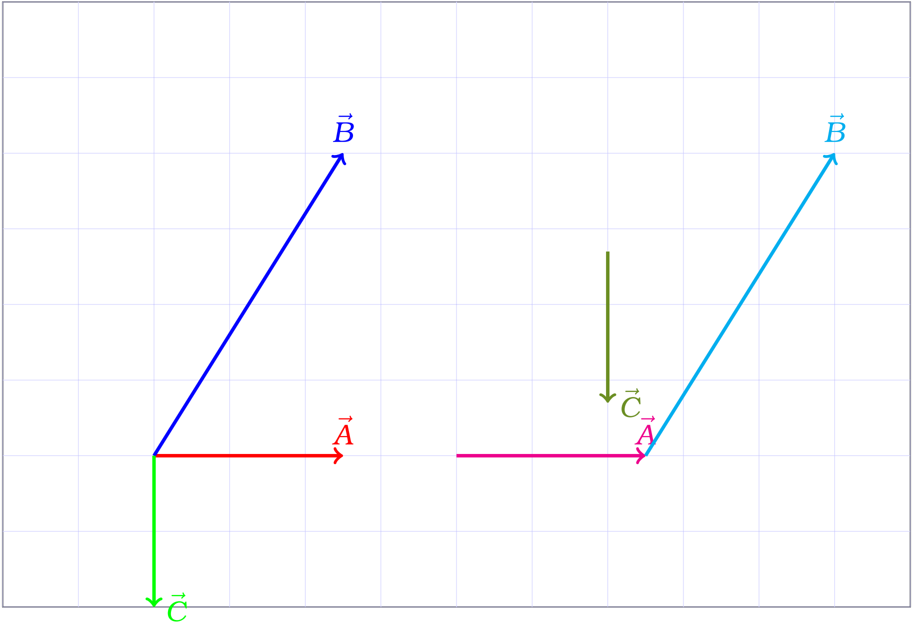


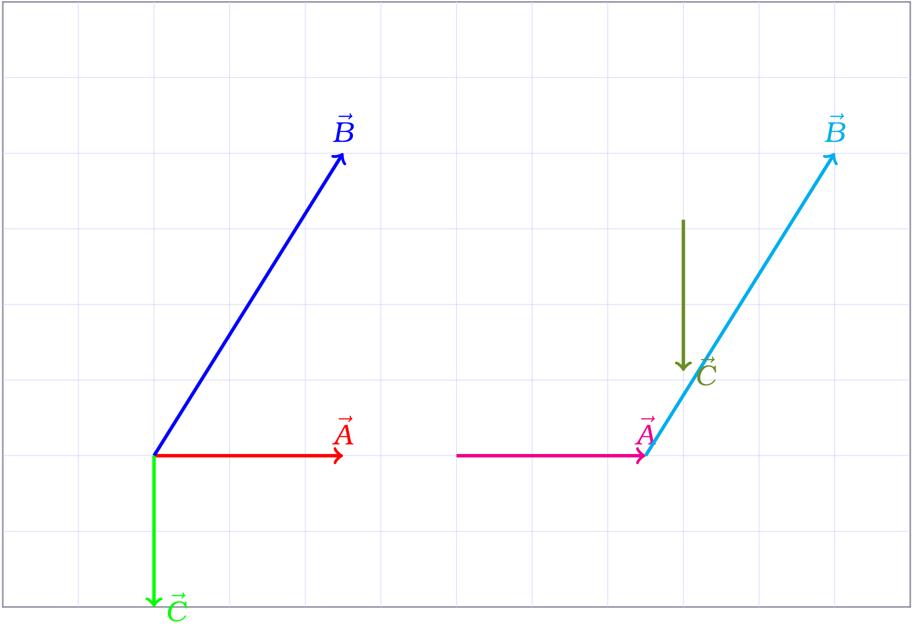
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$

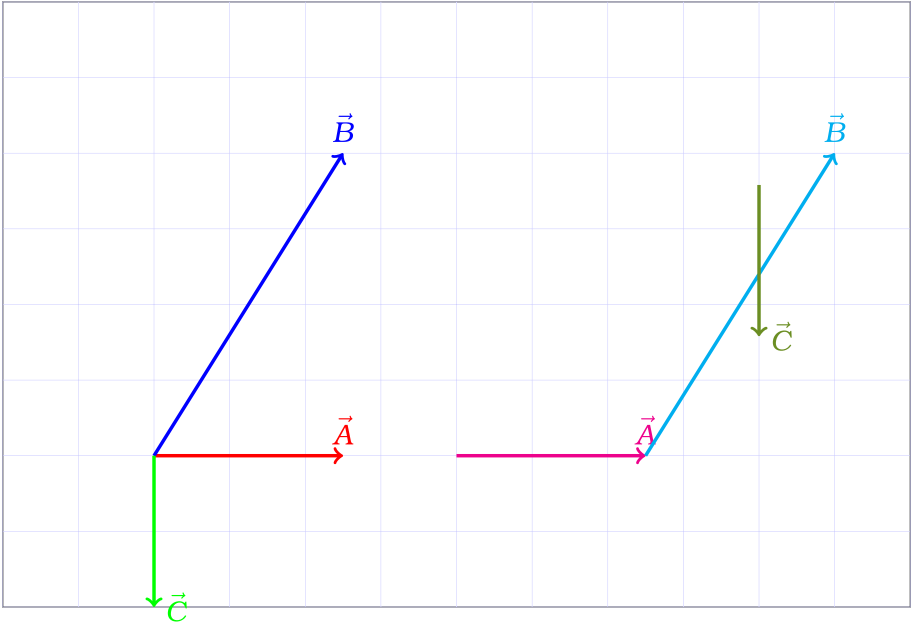

$\vec{B}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{C}$

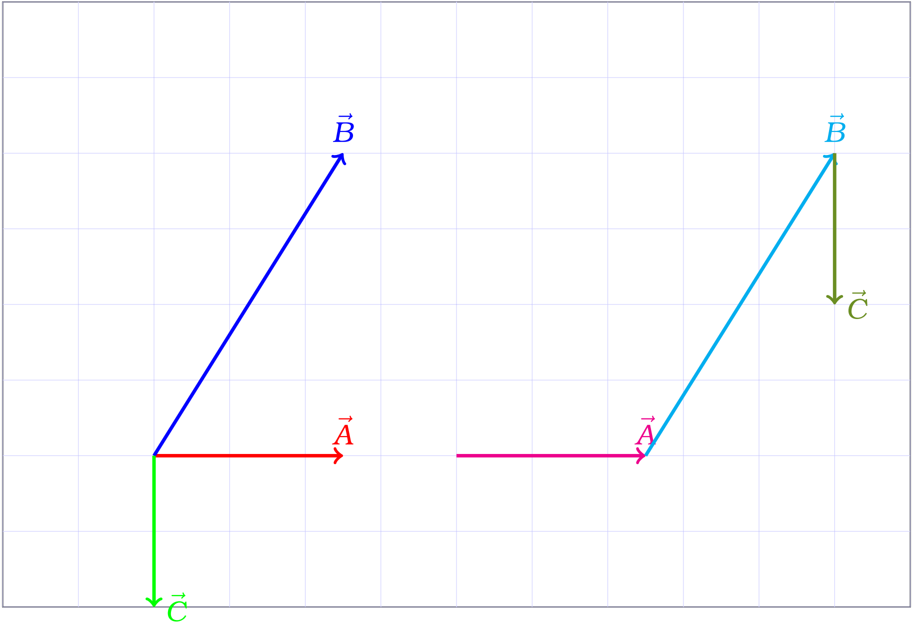

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$


$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
$\vec{A}$

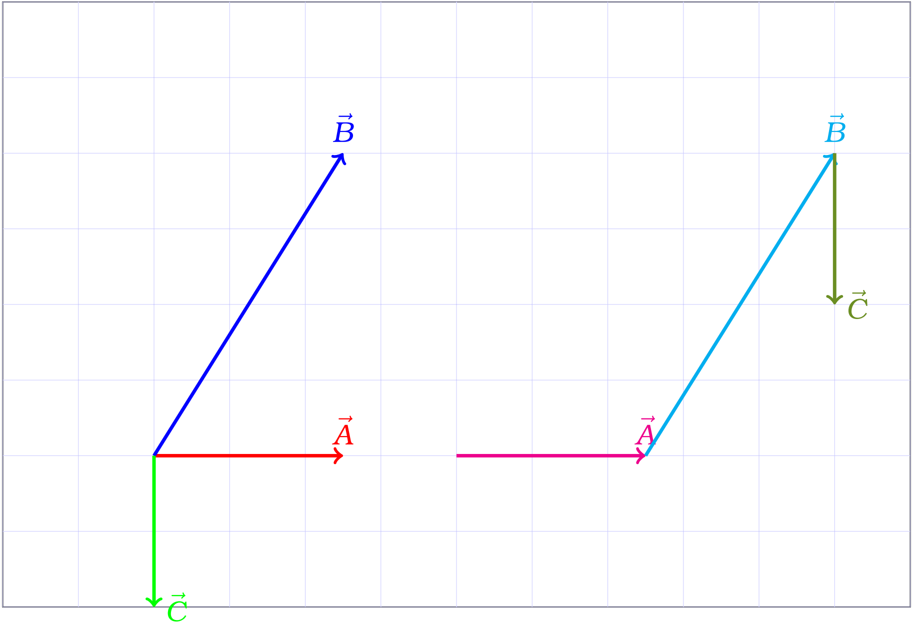

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
$\vec{A}$

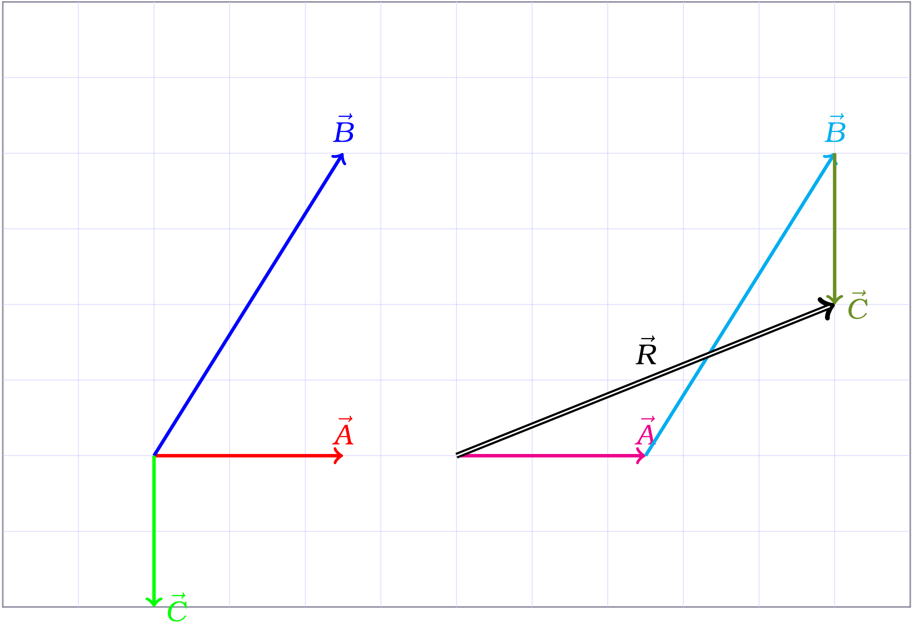

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
$\vec{A}$


$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
$\vec{A}$

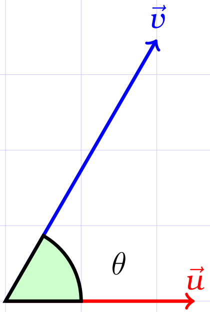


$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
$\vec{A}$

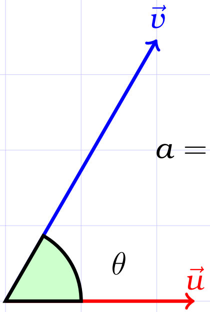

$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
$\vec{A}$


$\vec{B}$
$\vec{A}$
$\vec{C}$
$\vec{B}$
$\vec{C}$
$\vec{R}$
$\vec{A}$

Le produit scalaire de deux vecteurs est un réel

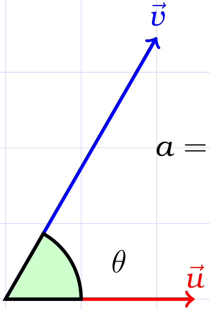


Le produit scalaire de deux vecteurs est un réel



$$a = \vec{v} \bullet \vec{u} = \vec{v} \bullet \vec{u} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \cos \Theta$$

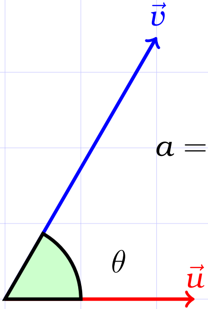
Le produit scalaire de deux vecteurs est un réel



$$a = \vec{v} \bullet \vec{u} = \vec{v} \bullet \vec{u} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \cos \Theta$$

où : $\|\vec{v}\|$ est le module de $\vec{v}$, et

Le produit scalaire de deux vecteurs est un réel

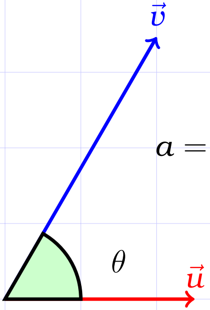


$$a = \vec{v} \bullet \vec{u} = \vec{v} \bullet \vec{u} = \|\vec{u}\| \|\vec{v}\| \cos \Theta$$

où : $\|\vec{v}\|$ est le module de $\vec{v}$, et

$\|\vec{u}\|$ est le module de $\vec{u}$

Le produit scalaire de deux vecteurs est un réel



$$a = \vec{v} \bullet \vec{u} = \vec{v} \bullet \vec{u} = \|\vec{u}\|\|\vec{v}\| \cos \Theta$$

où : $\|\vec{v}\|$ est le module de $\vec{v}$, et

$\|\vec{u}\|$ est le module de $\vec{u}$

$$a = \vec{v} \bullet \vec{v} = v_x.u_x + v_y.u_y$$

Sommaire

L'énergie peut être définie comme la capacité de faire un travail.

L'énergie peut être définie comme la capacité de faire un travail. L'énergie peut exister sous plusieurs formes, elle peut être transformée d'une forme à une autre.

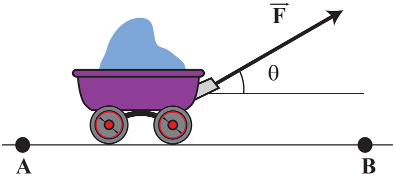
L'énergie peut être définie comme la capacité de faire un travail. L'énergie peut exister sous plusieurs formes, elle peut être transformée d'une forme à une autre. Ces transformations sont régies par un principe fondamental: le principe de la conservation de l'énergie.

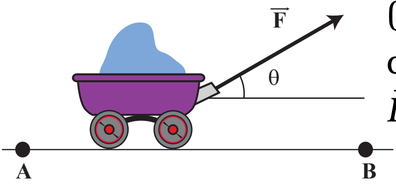
L'énergie peut être définie comme la capacité de faire un travail. L'énergie peut exister sous plusieurs formes, elle peut être transformée d'une forme à une autre. Ces transformations sont régies par un principe fondamental: le principe de la conservation de l'énergie.

Ce principe stipule que l'énergie ne peut être créée et ne peut être annulée.

L'énergie peut être définie comme la capacité de faire un travail. L'énergie peut exister sous plusieurs formes, elle peut être transformée d'une forme à une autre. Ces transformations sont régies par un principe fondamental: le principe de la conservation de l'énergie.

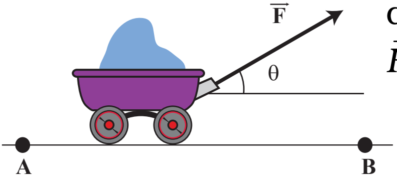
Ce principe stipule que l'énergie ne peut être créée et ne peut être annulée. Autrement dit, l'énergie d'un système isolé est constante.


F
θ
A
B



Si $\vec{F}$ est la force qui nous a permis de déplacer le chariot du point A au point B (déplacement rectiligne), nous définirons le travail de la force $\vec{F}$ comme:

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \bullet \overrightarrow{AB} \qquad (1)$$



Si $\vec{F}$ est la force qui nous a permis de déplacer le chariot du point A au point B (déplacement rectiligne), nous définirons le travail de la force $\vec{F}$ comme:

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \bullet \overrightarrow{AB} \qquad (1)$$

Dans le cas du chariot:

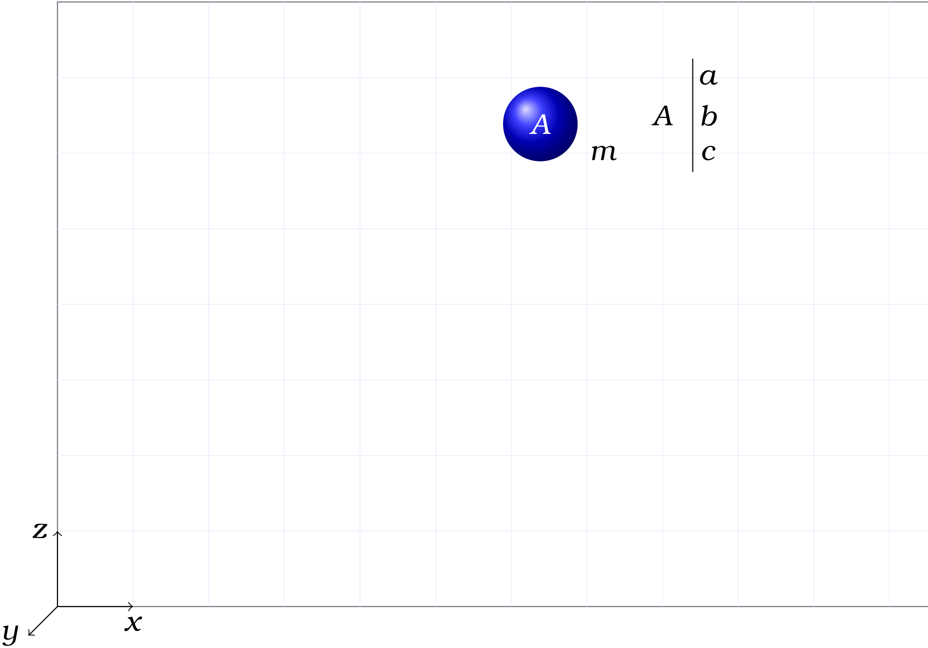
$$W_{AB}(\vec{F}) = F.AB.\cos\Theta \qquad (2)$$

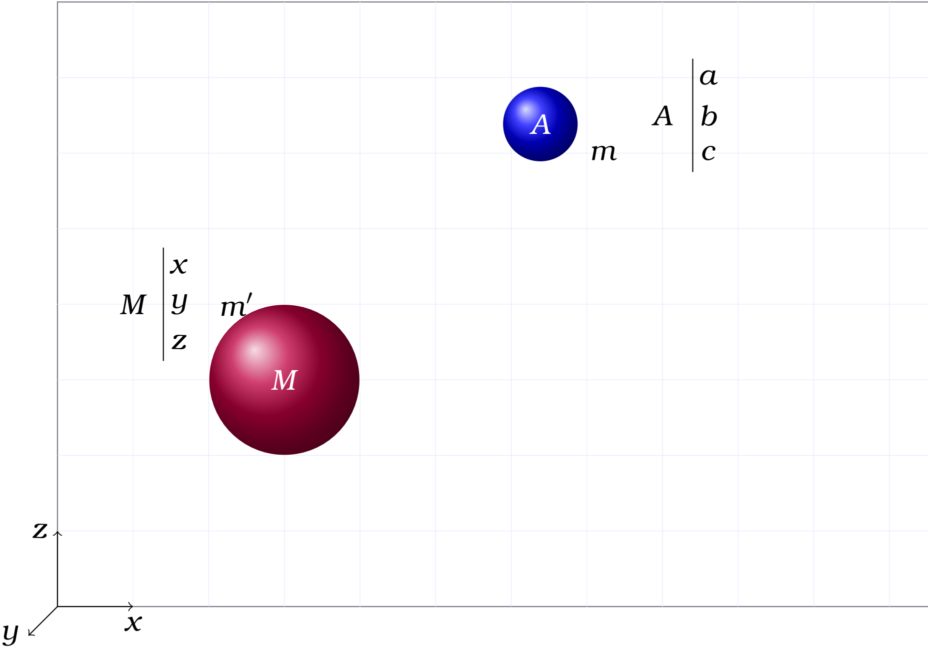
Le théorème de l'énergie cinétique nous dit que le travail total effectué pour accélérer un objet rigide est égale à la variation de son énergie cinétique.

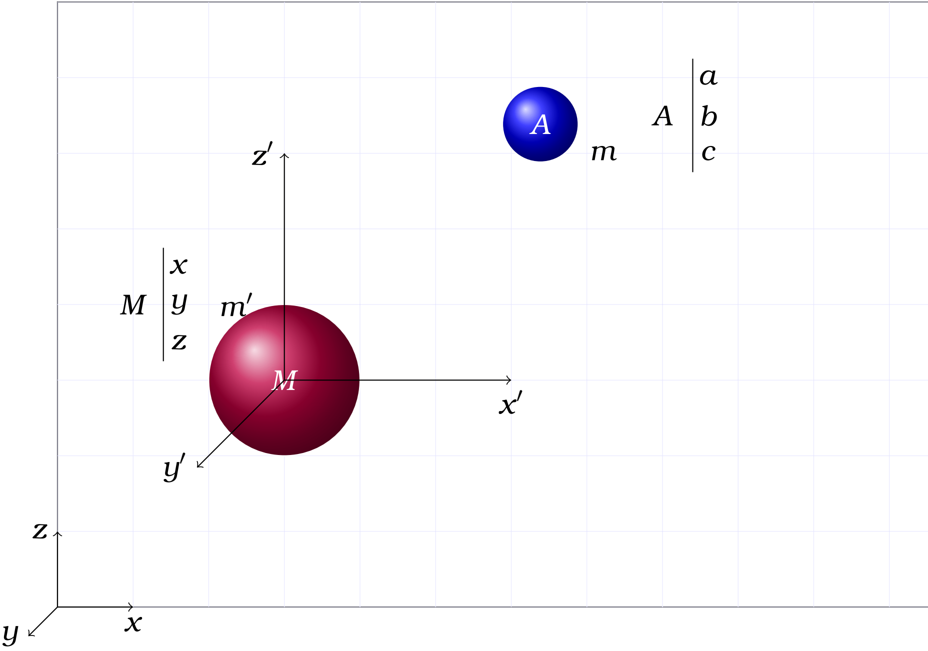
Le théorème de l'énergie cinétique nous dit que le travail total effectué pour accélérer un objet rigide est égale à la variation de son énergie cinétique.

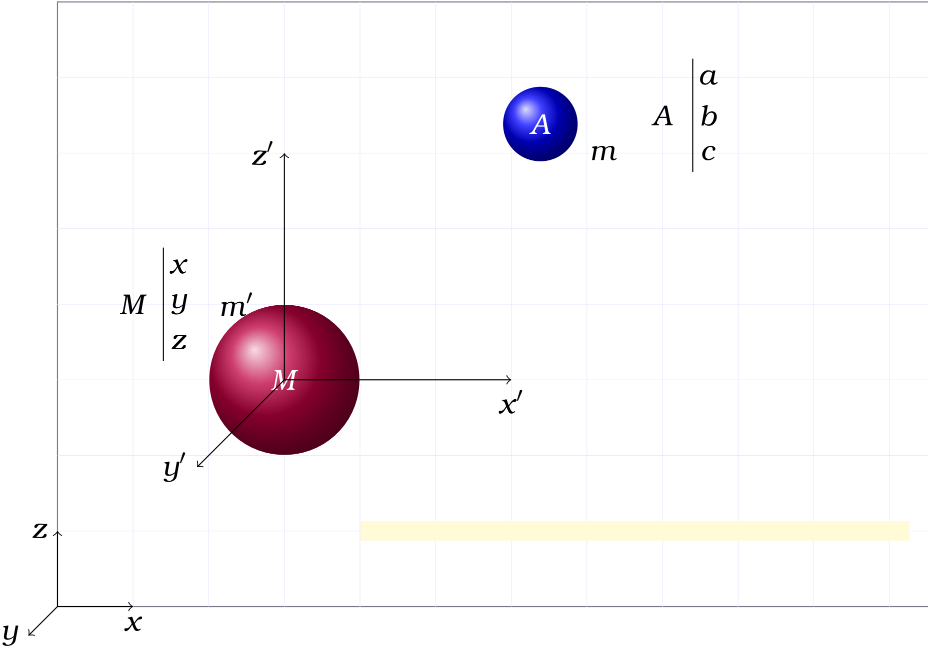
Le travail effectué pour soulever une masse est égal à l'accroissement de son énergie potentielle dans le champ gravitationnel.

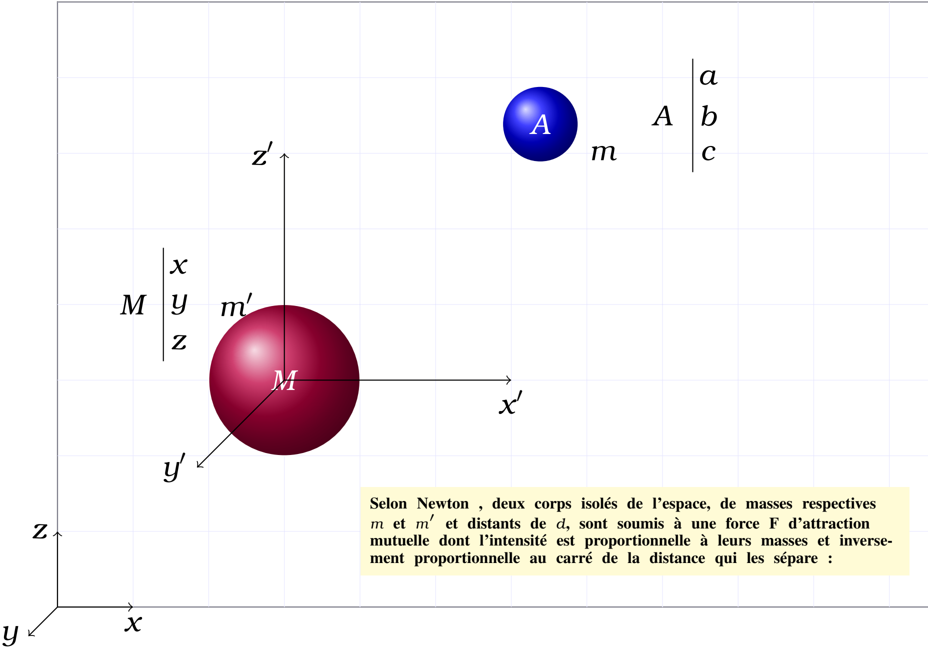
Sommaire


A
m
$A \left| \begin{array}{l} a \\ b \\ c \end{array} \right.$
z
y
x

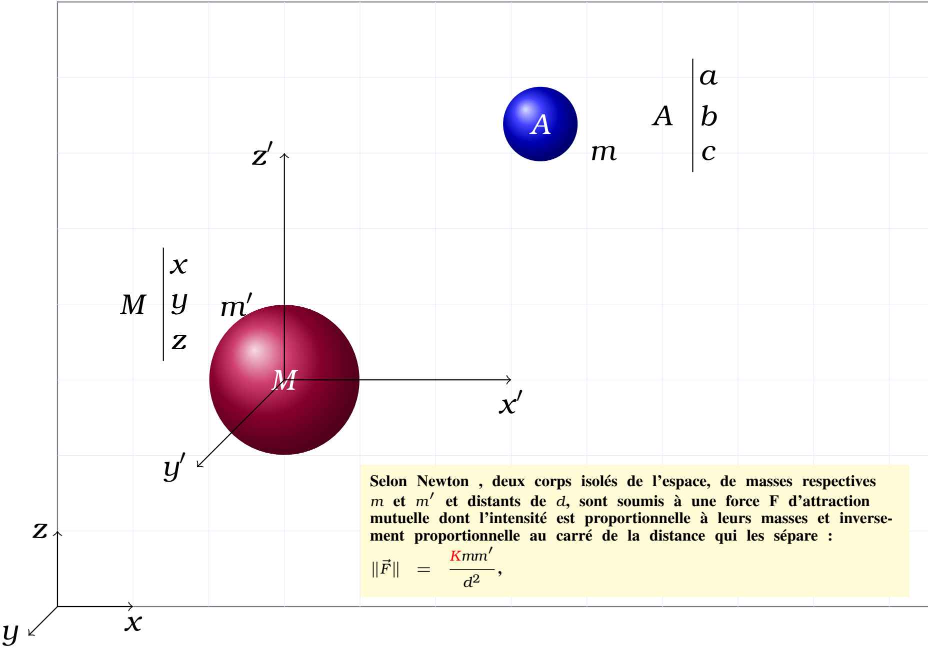

A
m
$A \left| \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} \right.$
$M \left| \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix} \right.$
m'
M
z
x
y


A
m
A
a
b
c
z'
M
x
y
z
m'
M
x'
y'
z
x
y


A
m
A
a
b
c
z'
M
x
y
z
m'
M
x'
y'
z
y
x

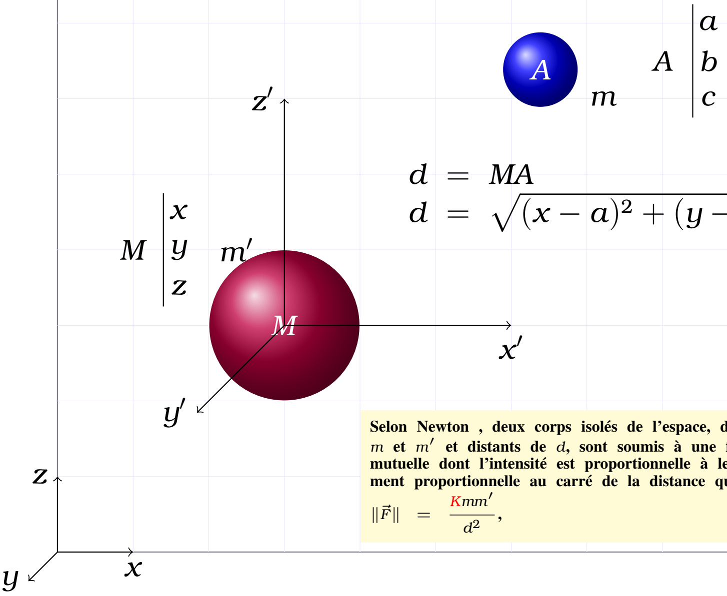


Selon Newton , deux corps isolés de l'espace, de masses respectives m et m' et distants de d, sont soumis à une force F d'attraction mutuelle dont l'intensité est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare :



Selon Newton , deux corps isolés de l'espace, de masses respectives m et m' et distants de d, sont soumis à une force F d'attraction mutuelle dont l'intensité est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare :

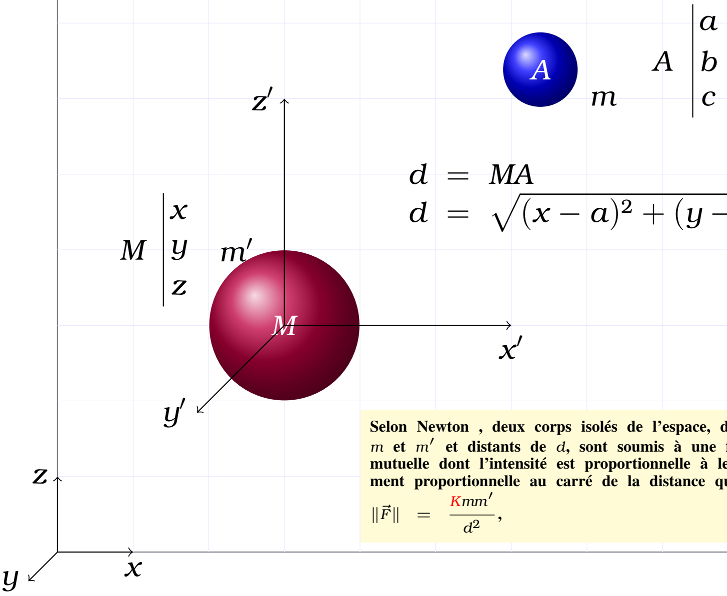
$$\|\vec{F}\| = \frac{Kmm'}{d^2},$$



$$d = MA$$
$$d = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}$$

Selon Newton , deux corps isolés de l'espace, de masses respectives m et m' et distants de d, sont soumis à une force F d'attraction mutuelle dont l'intensité est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare :

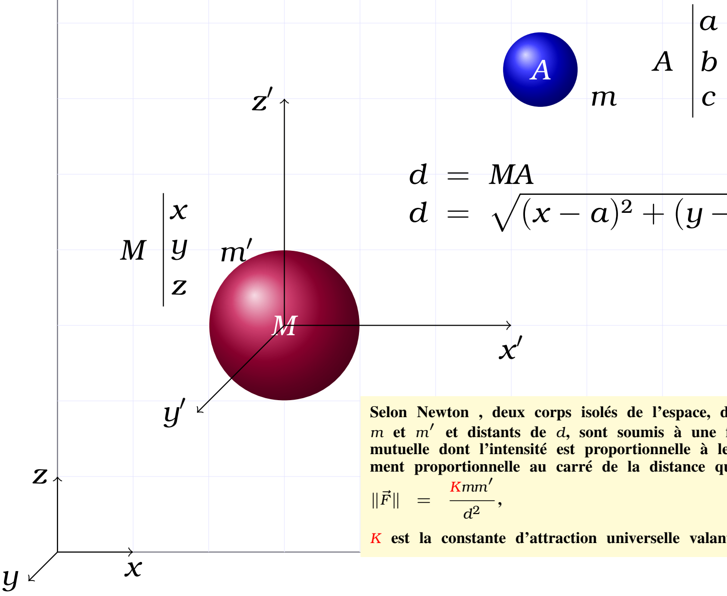
$$\|\vec{F}\| = \frac{Kmm'}{d^2},$$



$$d = MA$$
$$d = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}$$

Selon Newton , deux corps isolés de l'espace, de masses respectives m et m' et distants de d, sont soumis à une force F d'attraction mutuelle dont l'intensité est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare :

$$\|\vec{F}\| = \frac{Kmm'}{d^2},$$



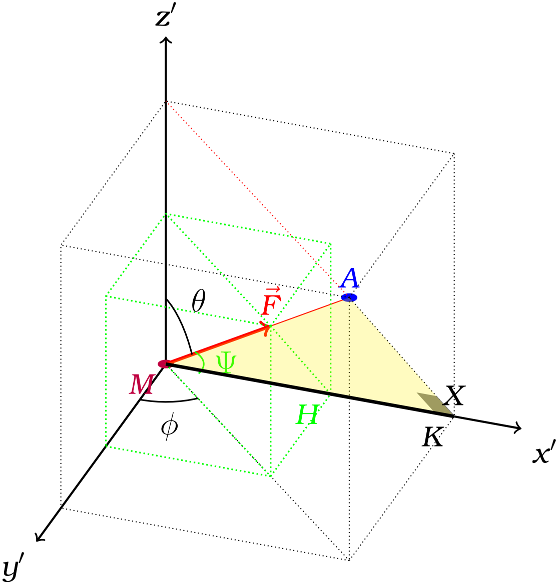
$$A \left| \begin{array}{l} a \\ b \\ c \end{array} \right. \qquad M \left| \begin{array}{l} x \\ y \\ z \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} d &= MA \\ d &= \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2} \end{aligned}$$

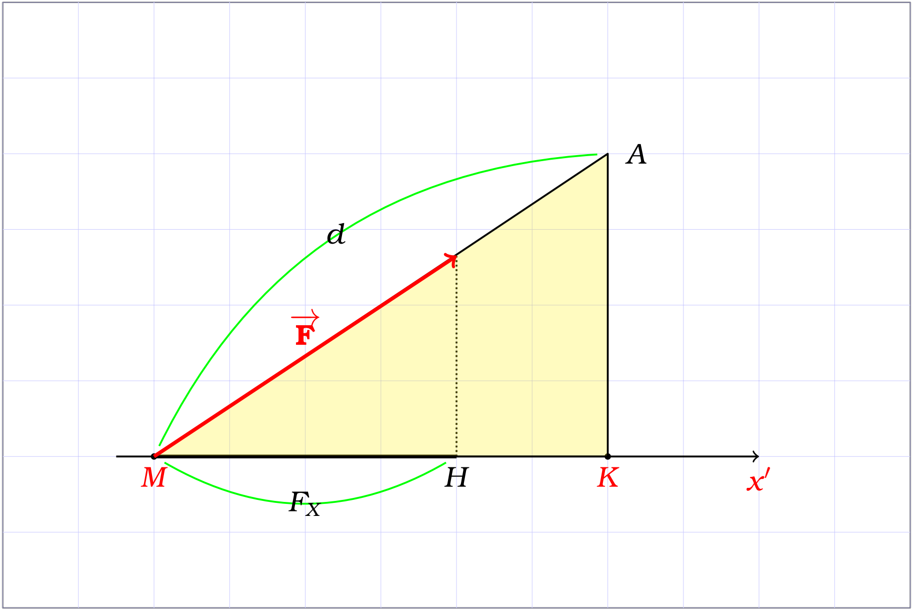
Selon Newton , deux corps isolés de l'espace, de masses respectives m et m' et distants de d, sont soumis à une force F d'attraction mutuelle dont l'intensité est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare :

$$\|\vec{F}\| = \frac{Kmm'}{d^2},$$

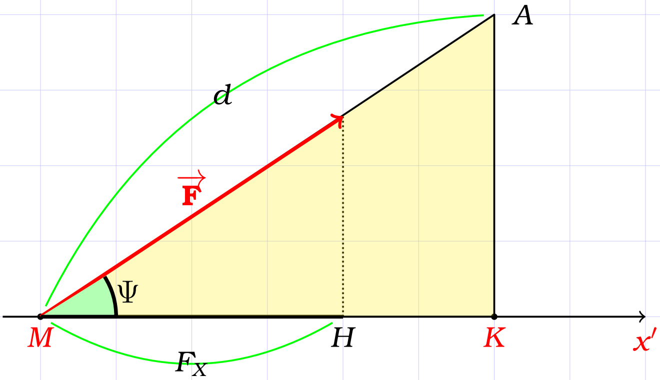
K **est la constante d'attraction universelle valant** $6.6726 N.m^2/kg^2$.



z'
A
$\vec{F}$
θ
Ψ
M
X
H
K
ϕ
x'
y'

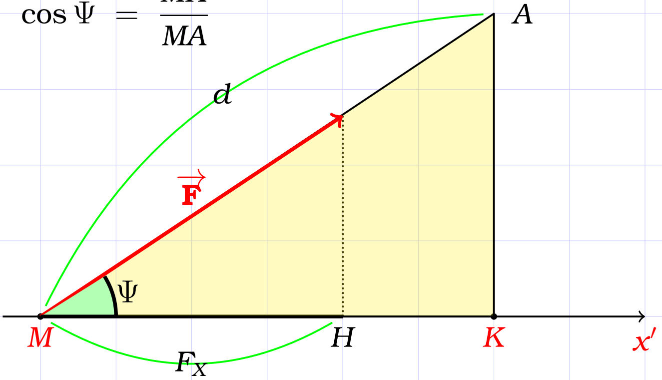

A
d
$\vec{\mathbf{F}}$
M
H
K
x'
F_x

$$F_x = \|\vec{F}\| \times \cos\Psi$$



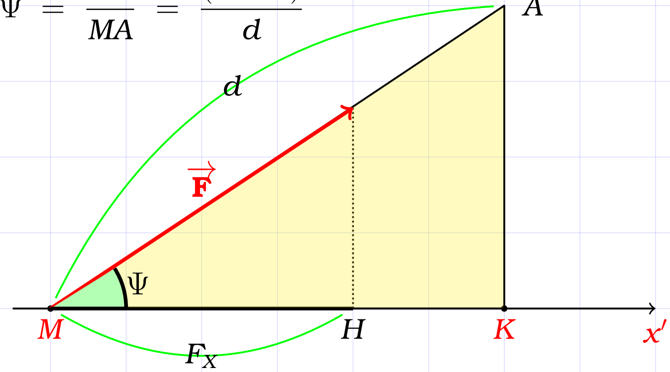
$$F_x = \|\vec{F}\| \times \cos\Psi$$

$$\cos\Psi = \frac{MK}{MA}$$



$$F_x = \|\vec{F}\| \times \cos\Psi$$

$$\cos\Psi = \frac{MK}{MA} = \frac{(a-x)}{d}$$



Nous avons vu que la force entre deux corps isolés de l'espace, d'après Newton:

$$\|\vec{F}\| = \frac{K \times m \times m'}{d^2} \tag{3}$$

$$F_x = \|\vec{F}\| \times \cos\Psi \tag{4}$$

Or,

$$\cos\Psi = \frac{MK}{MA} = \frac{(a-x)}{d} \tag{5}$$

Nous pouvons écrire en tenant compte de 3, 4 et 5:

$$
\begin{aligned}
F_x &= \|\vec{F}\| \times \cos\Psi & (6)\\
&= \frac{K \times m \times m'}{d^2} \times \cos\Psi & (7)\\
&= \frac{K \times m \times m'}{d^2} \times \frac{(a-x)}{d} & (8)\\
&= \frac{K \times m \times m'(a-x)}{d^3} & (9)
\end{aligned}
$$

De la même façon, nous pouvons démontrer:

$$F_y = \frac{K \times m \times m'(b-y)}{d^3} \tag{10}$$

$$F_z = \frac{K \times m \times m'(c-z)}{d^3} \tag{11}$$

Rappelons que :

$$d = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2} \tag{12}$$

Nous allons introduire une fonction $U(x, y, z)$:

$$U(x, y, z) = \frac{K \times m \times m'}{d} \tag{13}$$

Soit:

$$\begin{aligned} U(x, y, z) &= K \times m \times m' \times \\ &\left[(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2\right]^{-1/2} \end{aligned} \tag{14}$$

Effectuons maintenant la dérivée partielle de $U(x, y, z)$ par rapport à x, pour cela rappelons que si $f(x)$ est une fonction de x, la dérivée de $f(x)^{-1/2}$ est :

$$\left(f(x)^{-1/2}\right)' = -\frac{1}{2}f'_x \times f(x)^{((-1/2)-1)} = -\frac{1}{2}f'_x \times f(x)^{-3/2}$$

Soit:

$$\frac{\partial U(x, y, z)}{\partial x} = \frac{\partial\left(Kmm'\left[(x-a)^2\right]^{-1/2}\right)}{\partial x} \tag{15}$$

$$= Kmm'\frac{\partial\left(\left[(x-a)^2\right]^{-1/2}\right)}{\partial x} \tag{16}$$

Nous avons :

$$\begin{aligned} f(x) &= \left[(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2\right] \\ &= (x^2 - 2ax - a^2) + (y-b)^2 + (z-c)^2 \end{aligned}$$

alors:

$$f'_x = 2x - 2a = 2(x-a) = -2(a-x)$$

Et:

$$\frac{\partial\left[(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2\right]^{-1/2}}{\partial x} = \frac{\partial f(x)^{-1/2}}{\partial x} \quad (17)$$

L'équation (15) s'écrit alors:

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial U}{\partial x} &= -\frac{1}{2} f'_x K m m' f(x)^{-3/2} && (18)\\
&= \frac{\cancel{-1}}{\cancel{2}}[\cancel{-2}(a-x)]Kmm'\left[(x-a)^2+(y-b)^2+(z-c)^2\right]^{-3/2} && (19)\\
&= \frac{Kmm'(a-x)}{[(x-a)^2+(y-b)^2+(z-c)^2]^{3/2}} && (20)\\
&= \frac{Kmm'(a-x)}{[d^2]^{3/2}} && (21)\\
&= \frac{Kmm'(a-x)}{[d^{\cancel{2}}]^{3/\cancel{2}}} && (22)\\
&= \frac{Kmm'(a-x)}{d^3} && (23)
\end{aligned}
$$

Soit:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{Kmm'(a-x)}{d^3} \tag{24}$$

La différentielle de U, est:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial x}dx + \frac{\partial U}{\partial y}dy + \frac{\partial U}{\partial z}dz \tag{25}$$

Nous définirons alors le vecteur $\overrightarrow{grad}U$ telle que:

$$\overrightarrow{grad}U = \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial y} \\ \frac{\partial U}{\partial z} \end{pmatrix} \tag{26}$$

Nous avons démontré:

$$\boxed{\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{Kmm'(a-x)}{d^3}} \tag{27}$$

Soit d'après l'équation(9)

$$\frac{\partial U}{\partial x} = F_x \tag{28}$$

et de la même façon:

$$\frac{\partial U}{\partial y} = F_y \tag{29}$$

$$\frac{\partial U}{\partial z} = F_z \tag{30}$$

Pour pouvoir généraliser ce résultat nous allons définir le potentiel en disant: Un champ de force $\vec{F}(x, y, z)$ agissant sur un domaine D dérive d'un potentiel U si

$$dU = -F_x dx - F_y dy - F_z dz \tag{31}$$

est une **différentielle exacte**. Alors,

$$U = -\int_D F_x dx + F_y dy + F_z dz \tag{32}$$

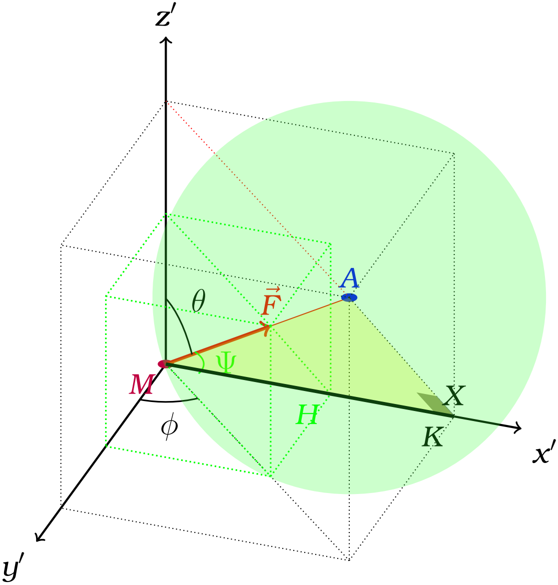
Nous écrirons alors:

$$\vec{F} = -\overrightarrow{grad} U \tag{33}$$

La différence de potentiel $U_2 - U_1$, ou **circulation du champ**, entre deux points M_1 et M_2 de D ne dépend que de la position de ces points et non du chemin (c), inclus dans D, conduisant de M_1 à M_2 :

$$U_2 - U_1 = -\int_{(c)} F_x dx + F_y dy + F_z dz \tag{34}$$

- L'intégrale curviligne d'un gradient sur une courbe fermée est nulle.
- Nous pouvons interpréter la circulation du champ comme le travail d'une force.

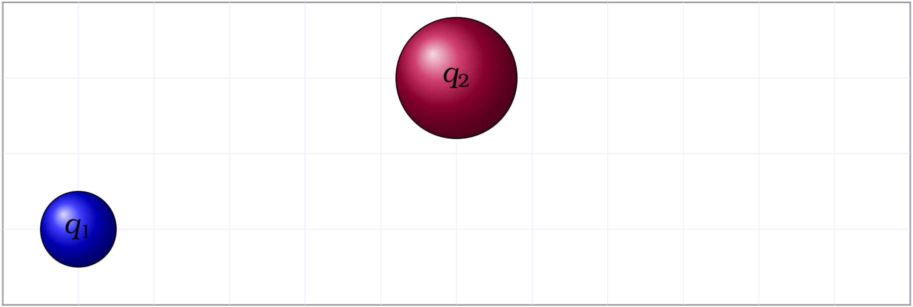

z′
y′
x′
A
F
θ
Ψ
M
φ
H
X
K

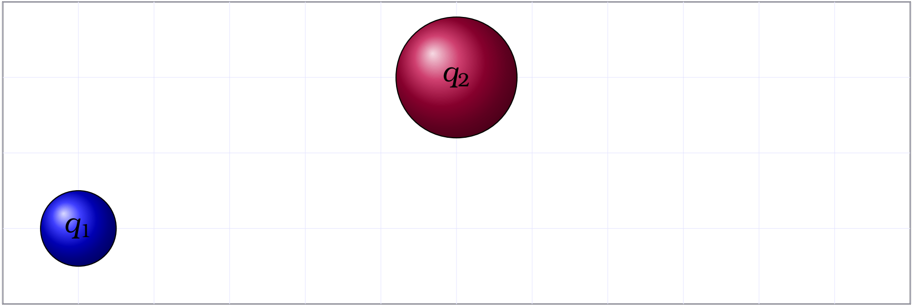
Part II

Électrostatique

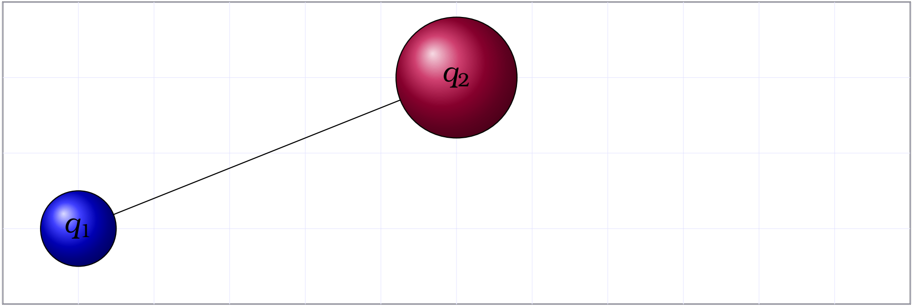
Sommaire

Après une série de mesures (à l'aide d'une balance de torsion) Charles Auguste de Coulomb a déterminé avec un certain degré de précision les propriétés de la force électrostatique exercée par une charge ponctuelle q_1 sur une autre charge ponctuelle q_2.

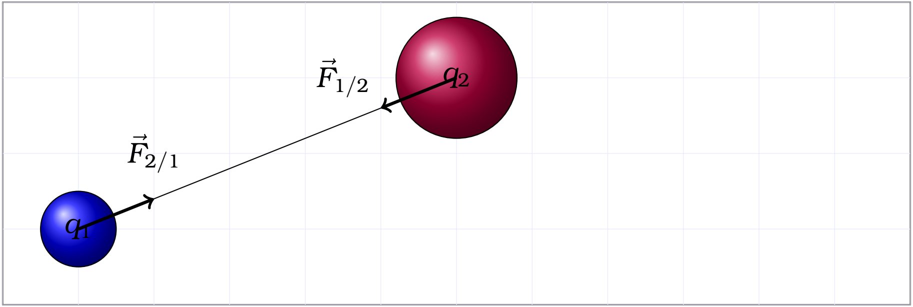

q_2
q_1

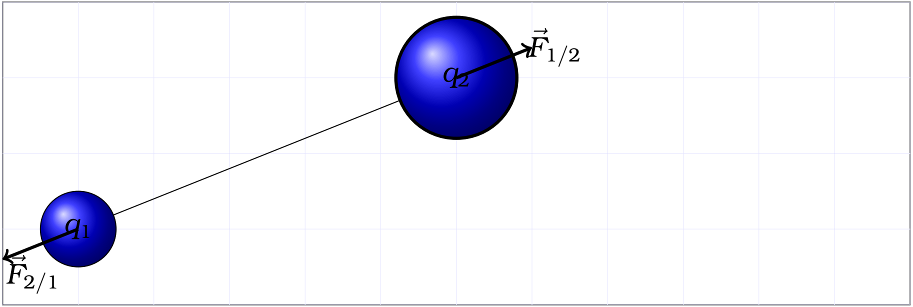

q_2
q_1

- La force est radiale, c'est à dire dirigée selon la droite qui joint les deux charges;
-
-

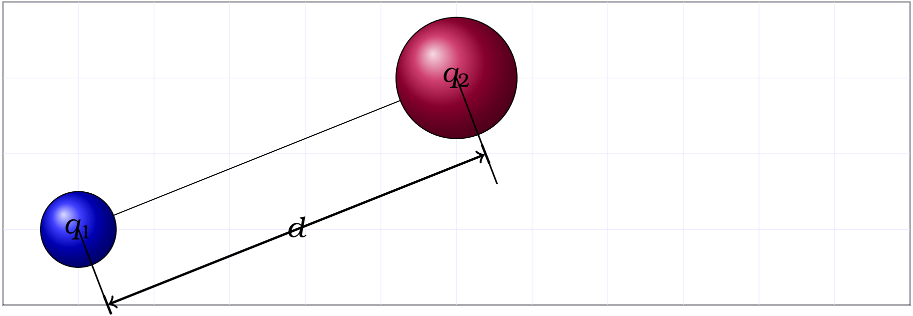


- La force est radiale, c'est à dire dirigée selon la droite qui joint les deux charges;
- Elle est proportionnelle au produit des charges : attractive si elles sont de signe opposé,
-



- La force est radiale, c'est à dire dirigée selon la droite qui joint les deux charges;
- Elle est proportionnelle au produit des charges : attractive si elles sont de signe opposé, répulsive sinon;
- 

- La force est radiale, c'est à dire dirigée selon la droite qui joint les deux charges;
- Elle est proportionnelle au produit des charges : attractive si elles sont de signe opposé, répulsive sinon;
- Enfin, elle varie comme l'inverse du carré de la distance entre les deux charges.



$$\|\overrightarrow{F_{1/2}}\| = \|\overrightarrow{F_{2/1}}\| = k\frac{|q_1| \times |q_2|}{d^2} \qquad (35)$$

Où :

k est une constante qui dépend du milieu où se trouvent les deux charges.

$\overrightarrow{F_{1/2}}$ est la force exercée par la charge q_1 sur la charge q_2,

$\overrightarrow{F_{2/1}}$ celle exercée par la charge q_2 sur la charge q_1.

Quels que soient les signes des charges q_1 et q_2, les forces qu'elles exercent l'une sur l'autre ont pour expressions vectorielles :

$$\overrightarrow{F_{1/2}} = k\frac{q_1 q_2}{d^2}.\overrightarrow{u_{1/2}} \quad (36)$$

$$\overrightarrow{F_{2/1}} = k\frac{q_1 q_2}{d^2}.\overrightarrow{u_{2/1}} \quad (37)$$

Quels que soient les signes des charges q_1 et q_2, les forces qu'elles exercent l'une sur l'autre ont pour expressions vectorielles :

$$\overrightarrow{F_{1/2}} = k\frac{q_1 q_2}{d^2}.\overrightarrow{u_{1/2}} \tag{36}$$

$$\overrightarrow{F_{2/1}} = k\frac{q_1 q_2}{d^2}.\overrightarrow{u_{2/1}} \tag{37}$$

$\overrightarrow{u_{1/2}}$ et $\overrightarrow{u_{2/1}}$ sont des vecteurs unitaires, qui ont pour expressions :

$$\overrightarrow{u_{1/2}} = \frac{\overrightarrow{O_1 O_2}}{d} \tag{38}$$

$$\overrightarrow{u_{2/1}} = \frac{\overrightarrow{O_2 O_1}}{d} = -\overrightarrow{u_{1/2}} \tag{39}$$

$$\boxed{\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = {\color{red}k}\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}.\overrightarrow{u_{12}}} \qquad (40)$$

$$\boxed{\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = {\color{red}k}\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}.\overrightarrow{u_{12}}} \tag{40}$$

où k est une constante :

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \tag{41}$$

$$\boxed{\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = k\frac{q_1 . q_2}{r^2} . \overrightarrow{u_{12}}} \qquad (40)$$

où k est une constante :

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \qquad (41)$$

ε_0 est la permittivité de l'air.

La permittivité d'un diélectrique se traduit par sa capacité a emmagasiner de l'énergie. Elle s'exprime par sa constante diélectrique, ou permittivite relative ε_r, déterminée par rapport a celle du vide ε_0. Elle décrit le pouvoir de la polarisation du milieu sous l'effet d'un *champ électrique*.

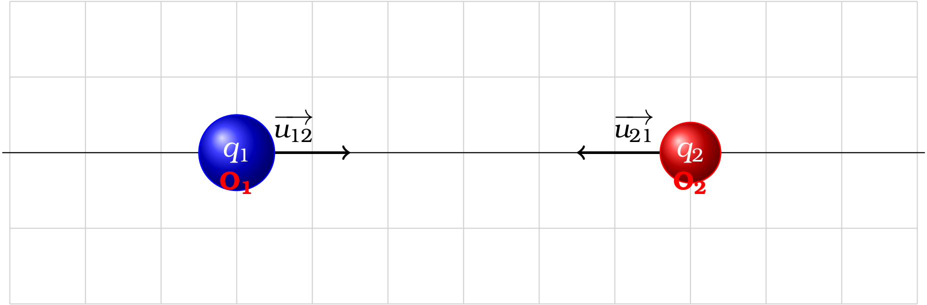
La permittivité d'un diélectrique se traduit par sa capacité a emmagasiner de l'énergie. Elle s'exprime par sa constante diélectrique, ou permittivite relative ε_r, déterminée par rapport a celle du vide ε_0. Elle décrit le pouvoir de la polarisation du milieu sous l'effet d'un *champ électrique*.

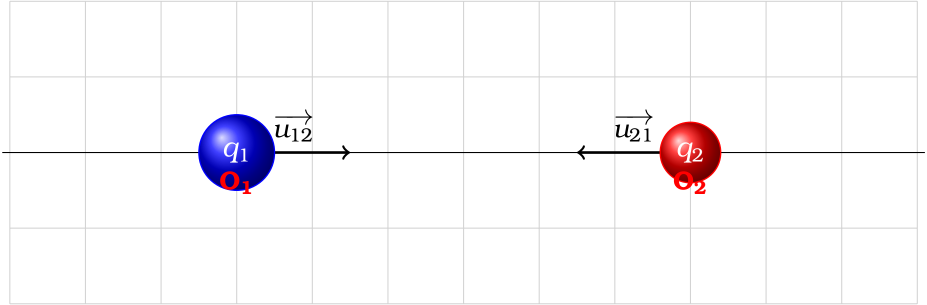
La permittivité d'un diélectrique se traduit par sa capacité a emmagasiner de l'énergie. Elle s'exprime par sa constante diélectrique, ou permittivite relative ε_r, déterminée par rapport a celle du vide ε_0. Elle décrit le pouvoir de la polarisation du milieu sous l'effet d'un *champ électrique*.

Comme toutes les forces les forces électrostatiques s'expriment en *Newton* noté *N* (Système **MKSA**: Mètre Kilogramme Seconde Ampère).

Comme toutes les forces les forces électrostatiques s'expriment en *Newton* noté N (Système **MKSA**: Mètre Kilogramme Seconde Ampère).

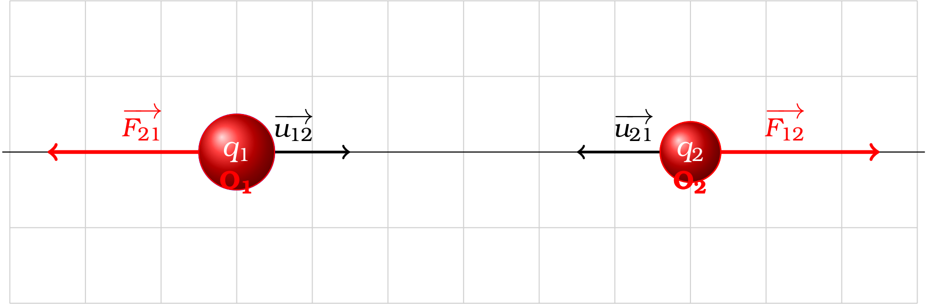
La charge sera exprimée en **Coulomb**: Le coulomb est défini comme étant la quantité de charges qui traversent une section radiale d'un conducteur, en une seconde, traversé par un courant de 1 Ampère.


$\overrightarrow{u_{12}}$
$\overrightarrow{u_{21}}$
q_1
q_2
O_1
O_2



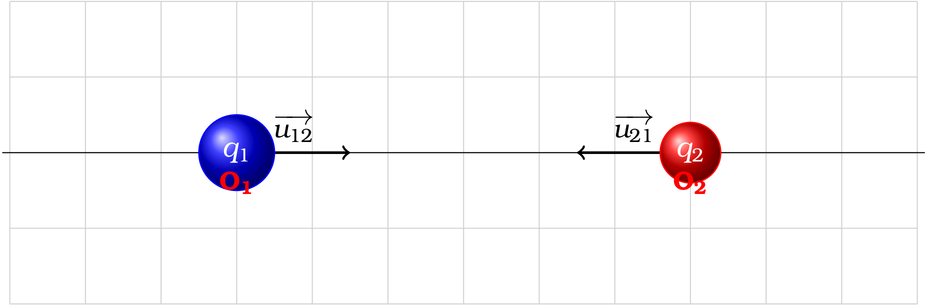
$$\boxed{q_1 \times q_2 > 0} \begin{cases} q_1 > 0 & \text{et } q_2 > 0 \\ q_1 < 0 & \text{et } q_2 < 0 \end{cases}$$

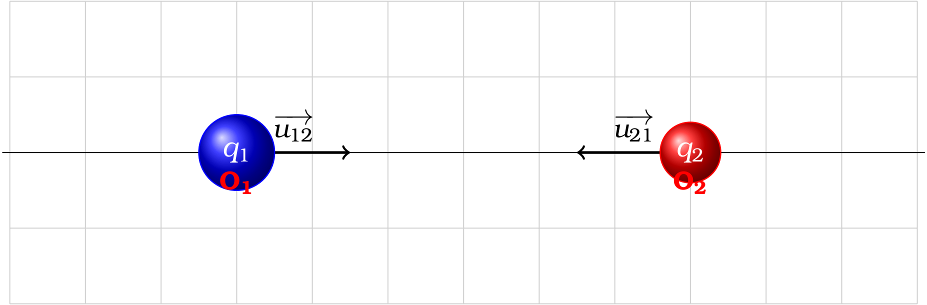
Les forces sont répulsives.



$$\boxed{q_1 \times q_2 > 0} \begin{cases} q_1 > 0 & \text{et } q_2 > 0 \\ q_1 < 0 & \text{et } q_2 < 0 \end{cases}$$

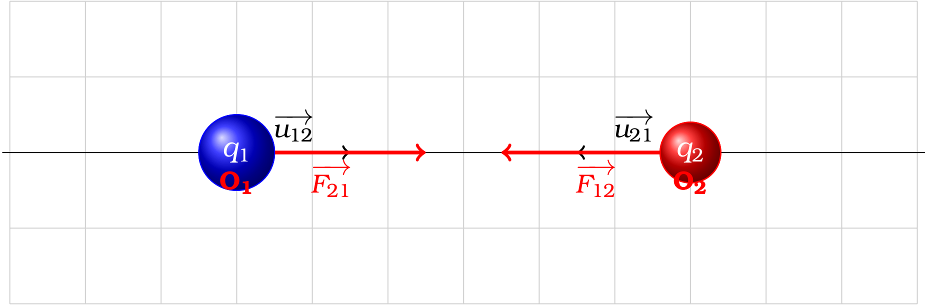
Les forces sont répulsives.


$\overrightarrow{u_{12}}$
$\overrightarrow{u_{21}}$
q_1
O_1
q_2
O_2



$$\boxed{q_1 \times q_2 < 0} \begin{cases} q_1 > 0 & \text{et } q_2 < 0 \\ q_1 < 0 & \text{et } q_2 > 0 \end{cases}$$

Les forces sont attractives.



$$\boxed{q_1 \times q_2 < 0} \begin{cases} q_1 > 0 & \text{et } q_2 < 0 \\ q_1 < 0 & \text{et } q_2 > 0 \end{cases}$$

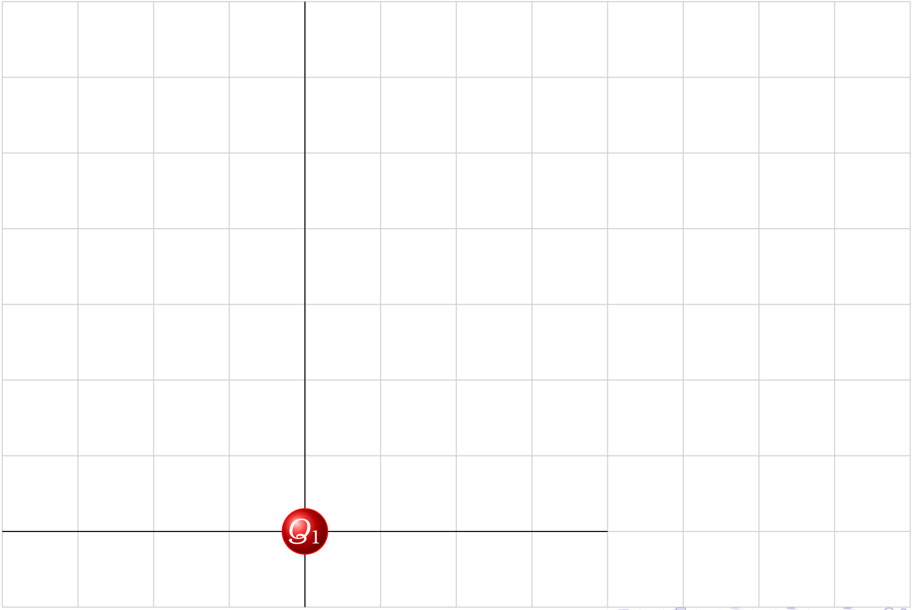
Les forces sont attractives.

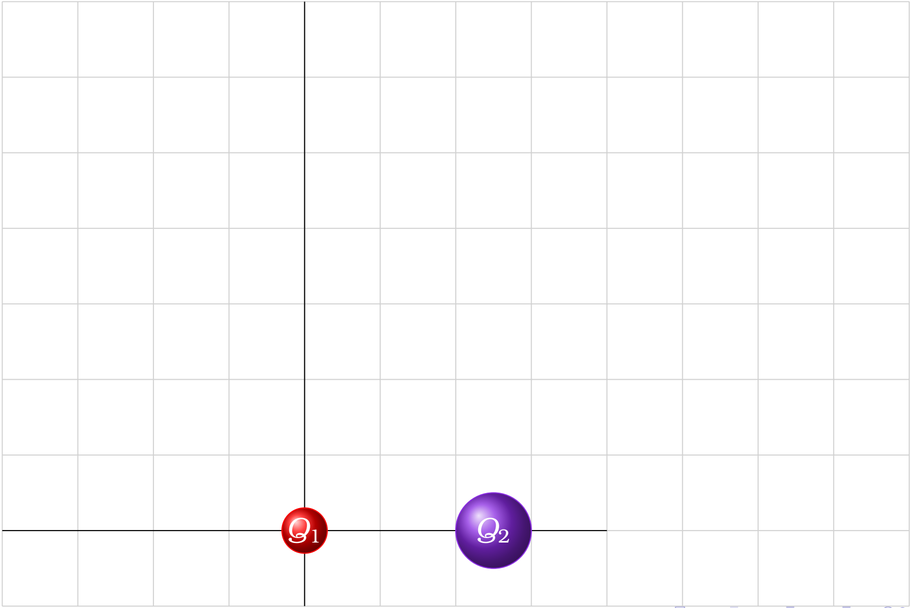
La force électrique étant, comme toutes les forces, une grandeur vectorielle, les forces électriques exercées par différentes charges électriques : $Q_2 Q_3, \ldots, Q_n$, sur une charge Q_1, se calculent indépendamment l'une de l'autre et s'ajoutent vectoriellement. La force totale exercée sur la charge Q_1 par les autres charges, est donnée par :

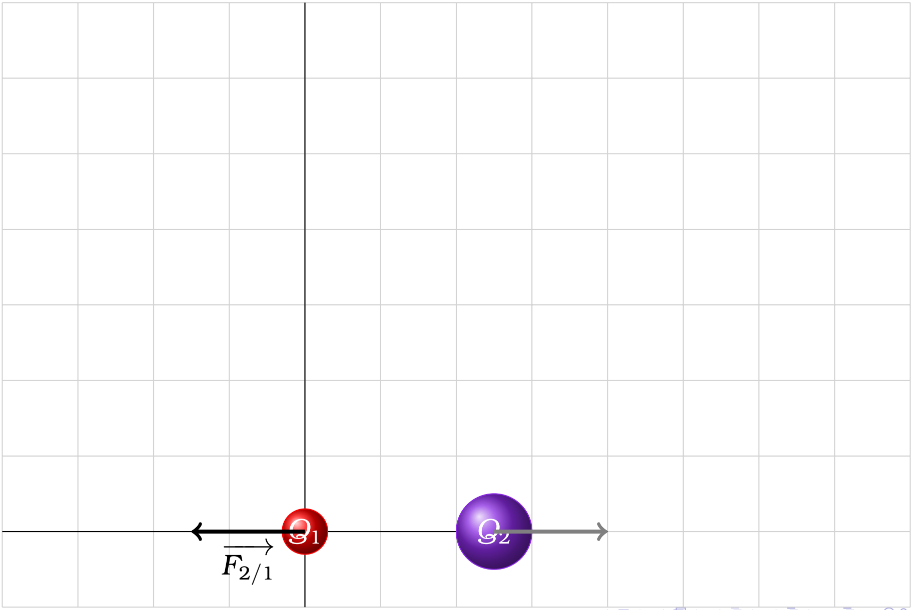
$$\overrightarrow{F_{*/1}} = \overrightarrow{F_{21}} + \overrightarrow{F_{31}} + \cdots + \overrightarrow{F_{n1}} \qquad (42)$$

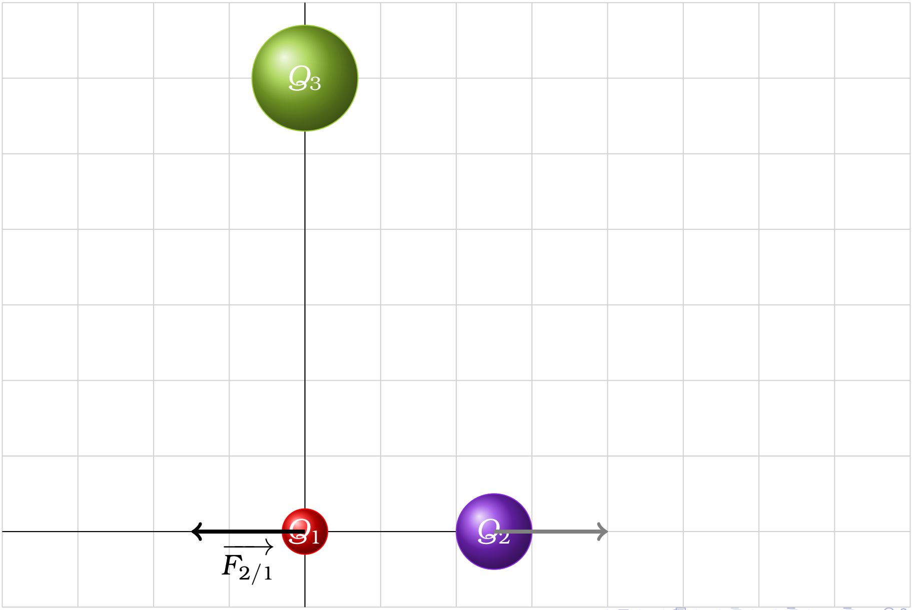
La force électrique étant, comme toutes les forces, une grandeur vectorielle, les forces électriques exercées par différentes charges électriques : $Q_2 Q_3, \ldots, Q_n$, sur une charge Q_1, se calculent indépendamment l'une de l'autre et s'ajoutent vectoriellement. La force totale exercée sur la charge Q_1 par les autres charges, est donnée par :

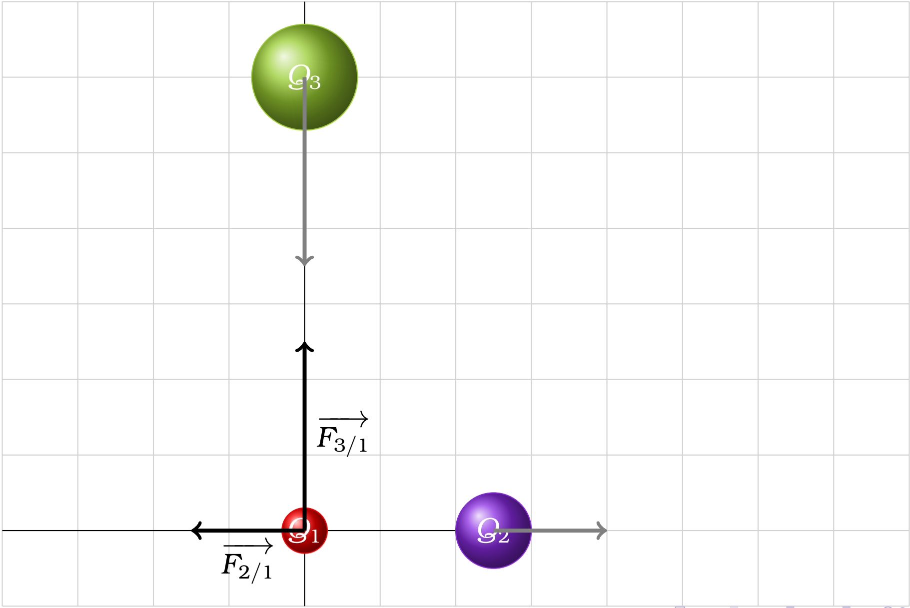
$$\overrightarrow{F_{*/1}} = \overrightarrow{F_{21}} + \overrightarrow{F_{31}} + \cdots + \overrightarrow{F_{n1}} \qquad (42)$$

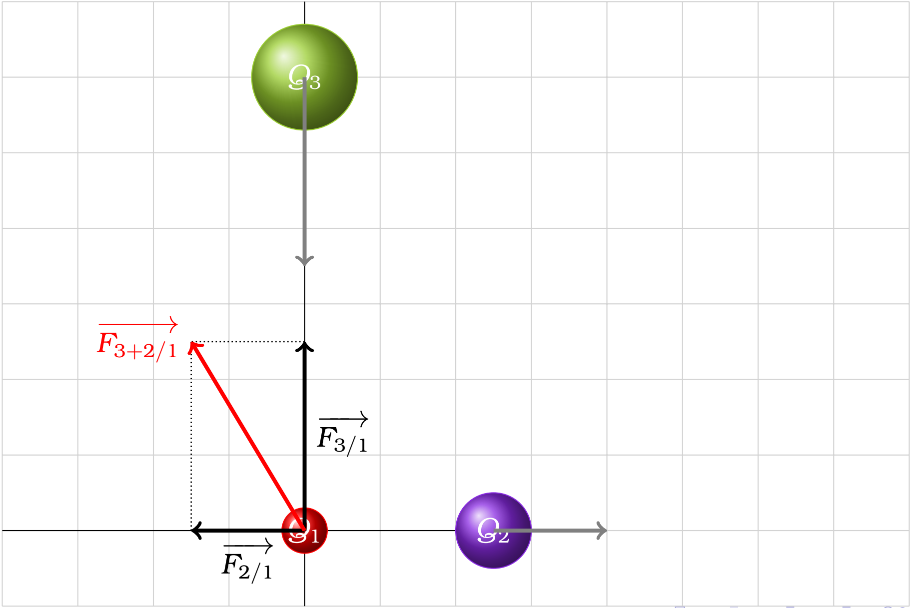

Q_1


Q_1
Q_2


Q_1
Q_2
$\overrightarrow{F_{2/1}}$


Q_3
Q_1
Q_2
$\overrightarrow{F_{2/1}}$


Q_3
$\overrightarrow{F_{3/1}}$
Q_1
$\overrightarrow{F_{2/1}}$
Q_2


Q_3
$\overrightarrow{F_{3+2/1}}$
$\overrightarrow{F_{3/1}}$
Q_1
Q_2
$\overrightarrow{F_{2/1}}$

Sommaire

La notion de champ a été introduite par les physiciens pour tenter d'expliquer comment deux objets peuvent interagir à distance, sans que rien ne les relie. A la fois la loi de la gravitation universelle de Newton et la loi de Coulomb en électrostatique, impliquent une telle interaction à distance.

La notion de champ a été introduite par les physiciens pour tenter d'expliquer comment deux objets peuvent interagir à distance, sans que rien ne les relie. A la fois la loi de la gravitation universelle de Newton et la loi de Coulomb en électrostatique, impliquent une telle interaction à distance.

Michael Faraday a introduit la notion de champ électrique en expliquant que la force de nature électrique peut aussi être comprise en admettant que toute charge q_1 tisse dans tout l'espace environnant une véritable toile *appelée* "**champ électrique**".

Michael Faraday a exprimé ce champ en fonction de la force comme :

$$\overrightarrow{E_1} = \frac{\overrightarrow{F_{1/2}}}{q_2} \tag{43}$$

(44)

(45)

Michael Faraday a exprimé ce champ en fonction de la force comme :

$$\overrightarrow{E_1} = \frac{\overrightarrow{F_{1/2}}}{q_2} \quad (43)$$

$$\overrightarrow{E_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1\cancel{q_2}}{\cancel{q_2}.r^2}.\overrightarrow{u_{12}} \quad (44)$$

(45)

Michael Faraday a exprimé ce champ en fonction de la force comme :

$$\overrightarrow{E_1} = \frac{\overrightarrow{F_{1/2}}}{q_2} \tag{43}$$

$$\overrightarrow{E_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \cancel{q_2}}{\cancel{q_2}.r^2}.\overrightarrow{u_{12}} \tag{44}$$

$$\overrightarrow{E_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r^2}.\overrightarrow{u_1} \tag{45}$$

Le champ électrique est donc une grandeur vectorielle. L'unité *SI* (Système Internationale) de champ électrique est le *Newton* par *Coulomb* :

$$\frac{[N]}{[C]} \tag{46}$$

L'unité de champ électrique est le champ subit par une charge de 1 *Coulomb* par une force de 1 *Newton*. C'est aussi le

$$\frac{[volt]}{[\text{mètre}]} \tag{47}$$

Dans le système **MKSA**.

Le champ électrique est donc une grandeur vectorielle. L'unité *SI* (Système Internationale) de champ électrique est le *Newton* par *Coulomb* :

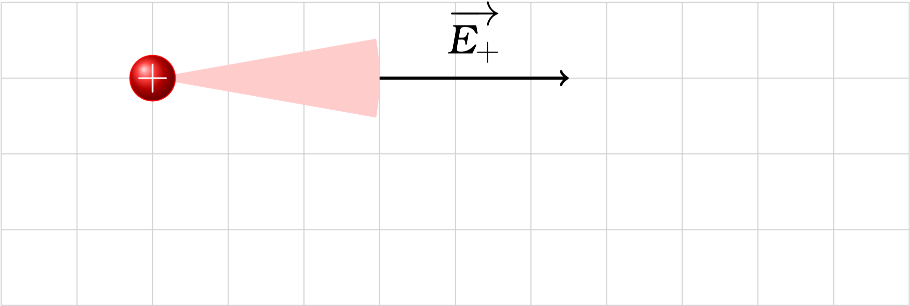
$$\frac{[N]}{[C]} \tag{46}$$

L'unité de champ électrique est le champ subit par une charge de 1 *Coulomb* par une force de 1 *Newton*. C'est aussi le

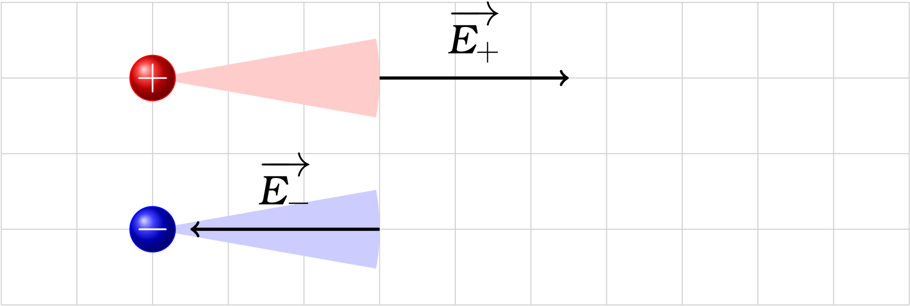
$$\frac{[volt]}{[\text{mètre}]} \tag{47}$$

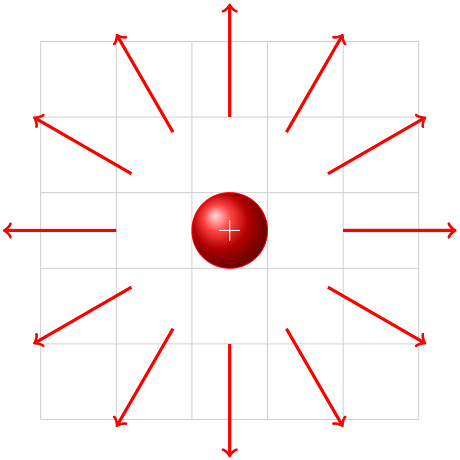
Dans le système **MKSA**.

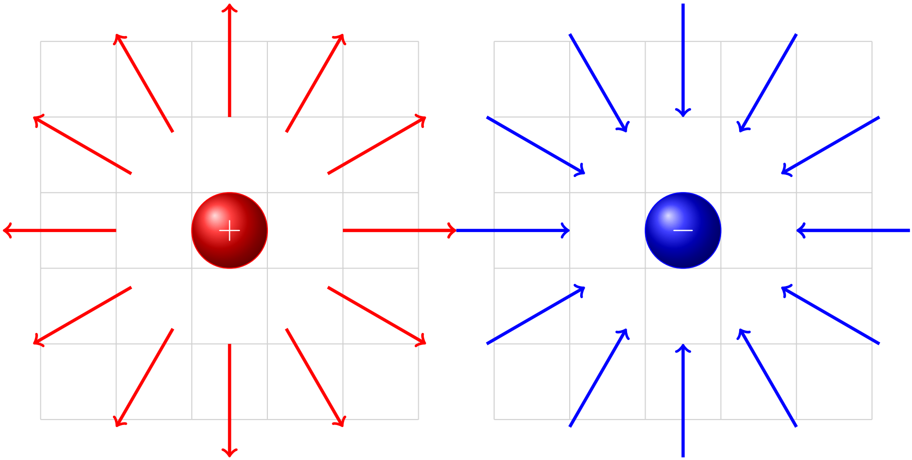
$$\overrightarrow{E_1} = q_1 \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{\overrightarrow{u_1}}{r^2}$$

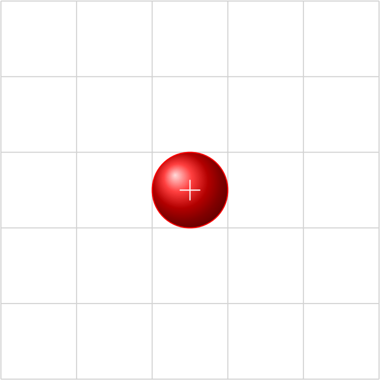


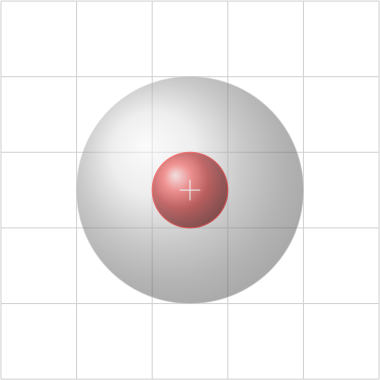
$$\overrightarrow{E_1} = q_1 \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{\overrightarrow{u_1}}{r^2}$$

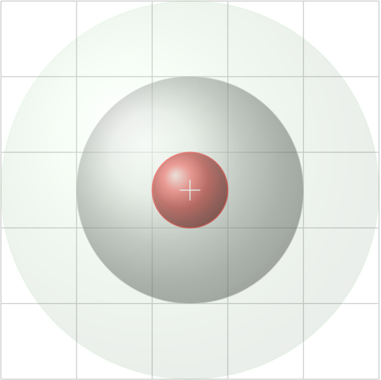












Le champ électrostatique

Si dans une region de l'espace, une charge électrique q est soumise à une **force électrostatique** $\overrightarrow{F}$, dans cette région règne un **champ électrostatique**.

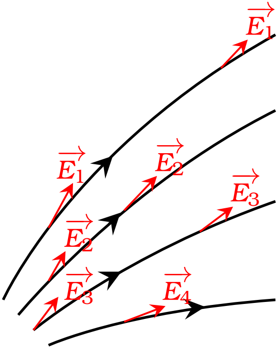
Le champ électrostatique

Si dans une region de l'espace, une charge électrique q est soumise à une **force électrostatique** $\overrightarrow{F}$, dans cette région règne un **champ électrostatique**.

Remarque

Il reste bien entendu que l'existence du champ électrique n'est pas lié à la présence de la charge q, mais que celle-ci permet tout simplement de mettre ce champ en évidence et de l'explorer.

Elles sont encore appelées "lignes de force". Ce sont les lignes telles que le vecteur champ électrique d'un point P qui les parcourt est constamment tangent à cette ligne.



Remarque:
Deux lignes de champ électrostatique ne peuvent pas se croiser en un point M, ceci impliquerait que: $\vec{E}$ a deux directions différentes.

Part III

Le potentiel électrique

Le potentiel électrique

Sommaire

Nous avons vu que lorsqu'une charge q est placée dans une champ électrique $\vec{E}$ au point M, elle subit une force $\vec{F} = q\vec{E}$.

Nous avons vu que lorsqu'une charge q est placée dans une champ électrique $\vec{E}$ au point M, elle subit une force $\vec{F} = q\vec{E}$. Lorsque le point M se déplace dans le champ électrique d'une longueur élementaire dl, le travail de la force $\vec{F}$ est alors égale à :

$$dW = \vec{F} \bullet \vec{dl} = q\vec{E} \bullet \vec{dl} \tag{48}$$

Si le déplacement du point M se fait d'un point A à un point B, le travail mis en jeu est égal à la somme des travaux élémentaires et sa valeur est

$$W = q \int_A^B \vec{E} \bullet \vec{dl} \tag{49}$$

Nous allons introduire une nouvelle grandeur telle que :

$$dV = -\vec{E} \bullet \vec{dl} \tag{50}$$

Nous allons introduire une nouvelle grandeur telle que :

$$dV = -\vec{E} \bullet \vec{dl} \tag{50}$$

Ou encore :

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}\ V \tag{51}$$

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad} \quad V \Longleftrightarrow \left| \begin{array}{l} E_x = -\dfrac{\partial V}{\partial x} \\ E_y = -\dfrac{\partial V}{\partial y} \\ E_z = -\dfrac{\partial V}{\partial z} \end{array} \right. \tag{52}$$

d'où :

$$V = -\int \vec{E} \bullet \vec{dl} \tag{53}$$

d'où :

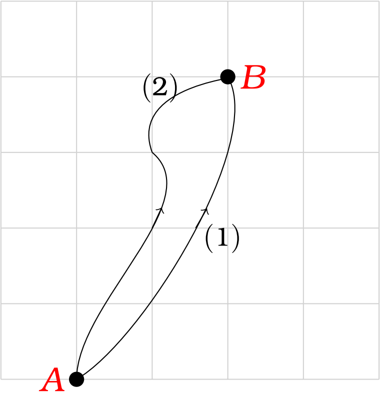
$$V = -\int \vec{E} \bullet \vec{dl} \tag{53}$$

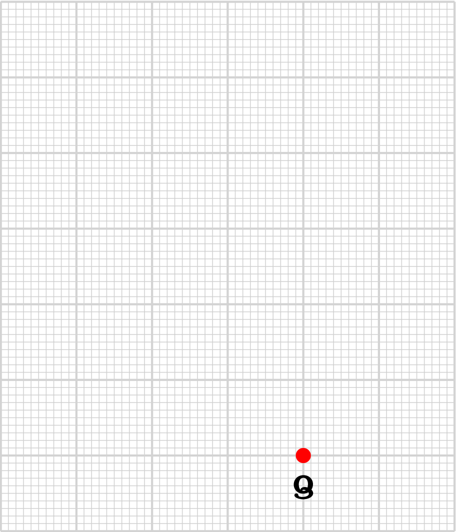
Soit l'expression du travail :

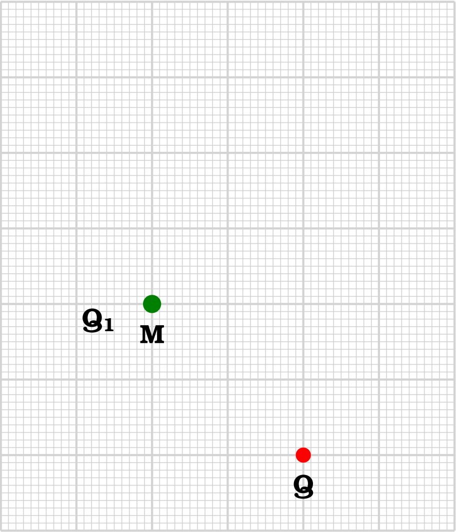
$$W = q \int_A^B -dV = q \int_B^A dV = q(V_A - V_B) \boxed{+C^{te}} \tag{54}$$

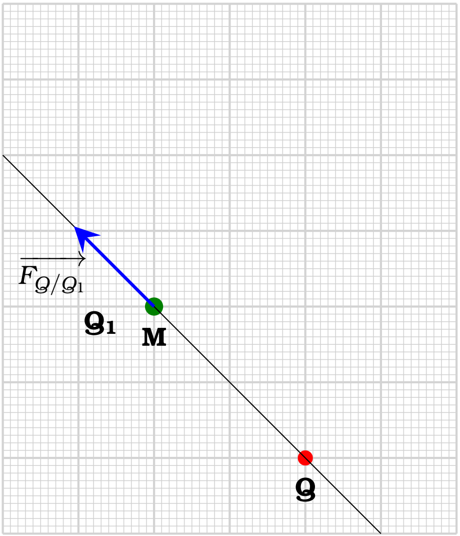
Seules les forces d'un type particulier, dites conservatives, permettent de leur associer une énergie potentielle.

Cette condition à l'existence d'une énergie potentielle peut encore s'exprimer en disant que le travail de la force entre A et B, ne peut dépendre du chemin suivi pour aller de A à B :

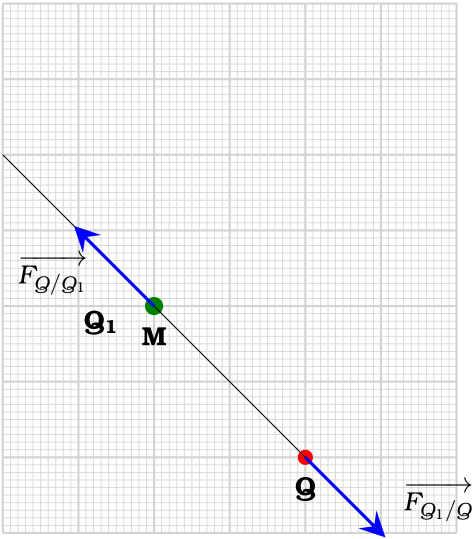



Q

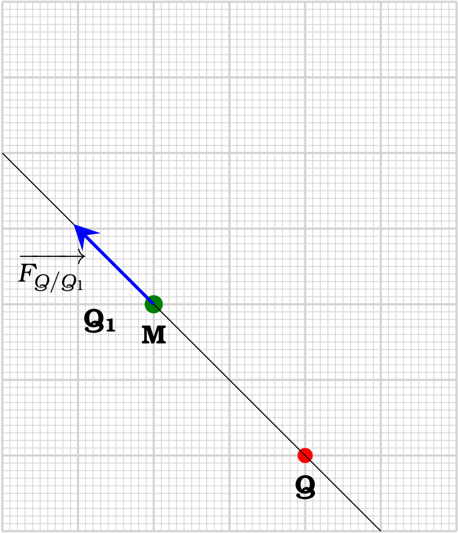

Q1
M
Q



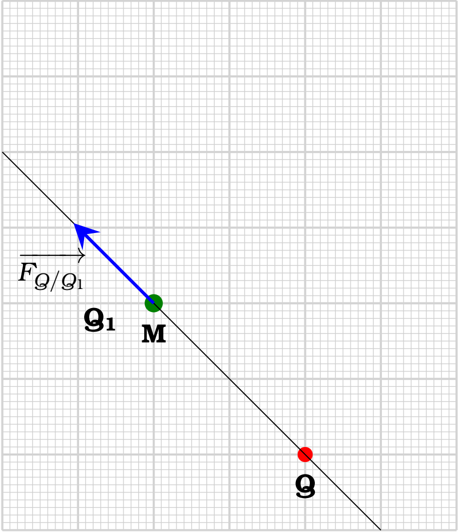
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
Q_1
M
Q



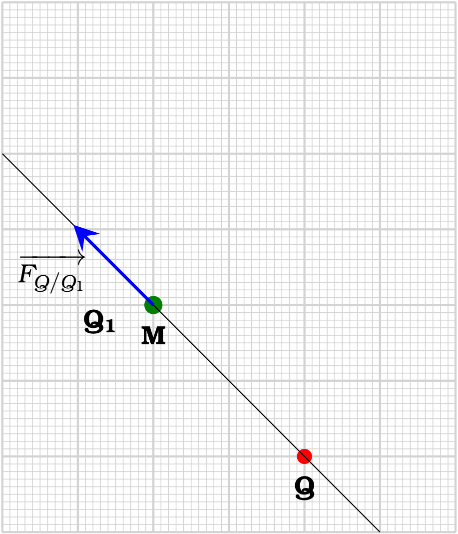
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
Q1
M
Q
$\overrightarrow{F_{Q_1/Q}}$



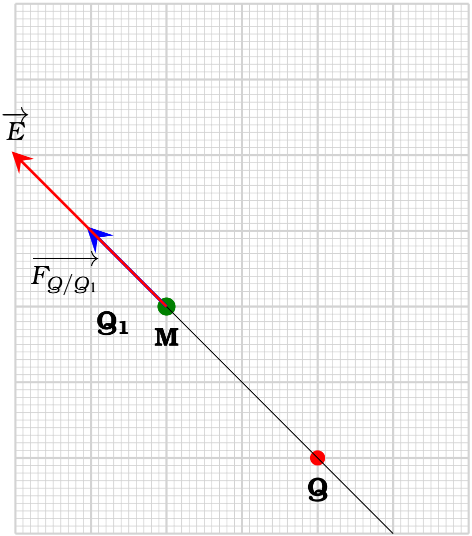
$$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}} = \vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{QQ_1}{r^2}\overrightarrow{u_{QQ_1}}$$

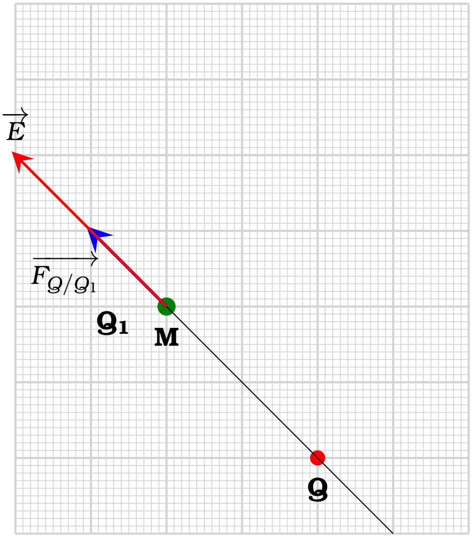


$$\overrightarrow{E_Q} = \frac{\overrightarrow{F}_{Q/Q_1}}{Q_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}\overrightarrow{u_{QQ_1}}$$

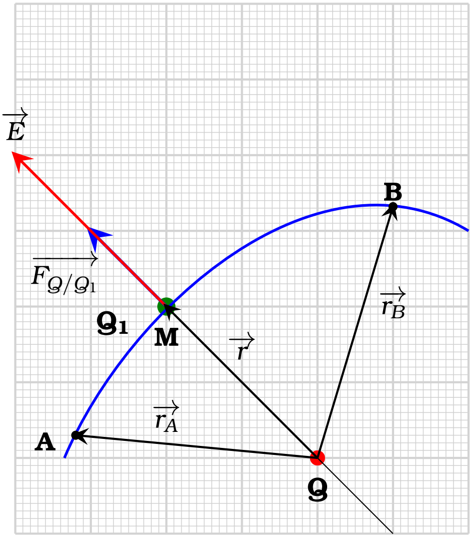


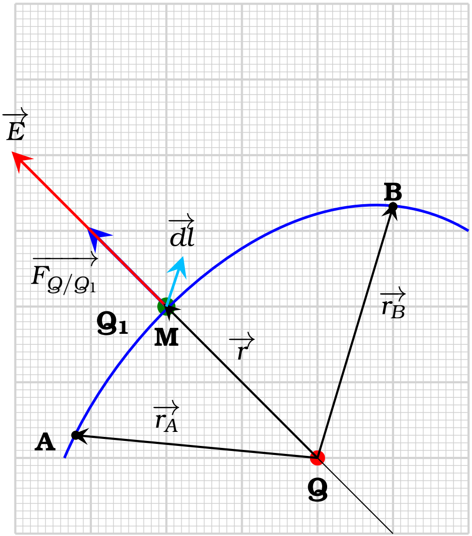
Si $Q_1 > 0$, $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{F}$ ont le mêm
sens et la même direction.

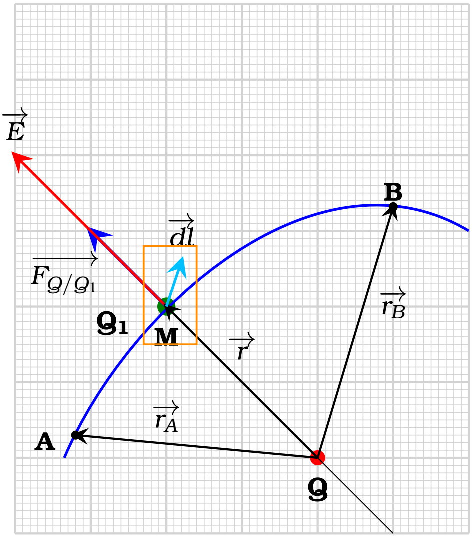

$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
Q_1
M
Q

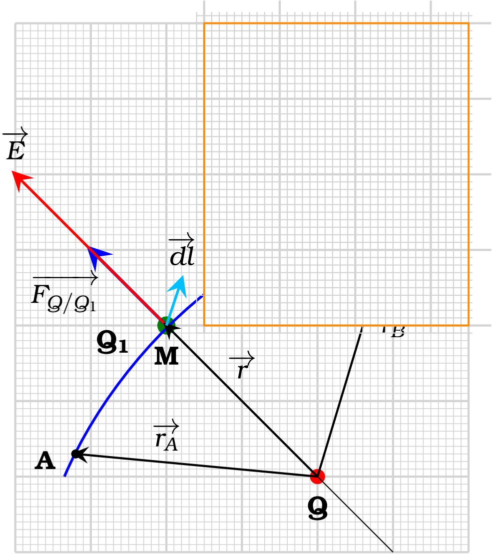


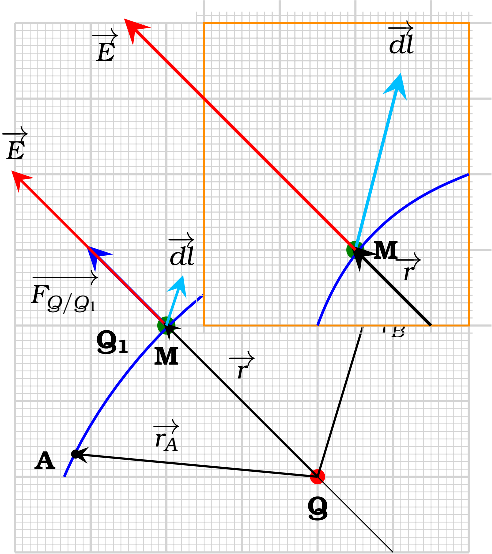
Nous allons nous intéresser au travail de cette force entre deux points quelconque de l'espace A et B.


$\overrightarrow{E}$
B
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
$\overrightarrow{r_B}$
Q_1
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
A
Q

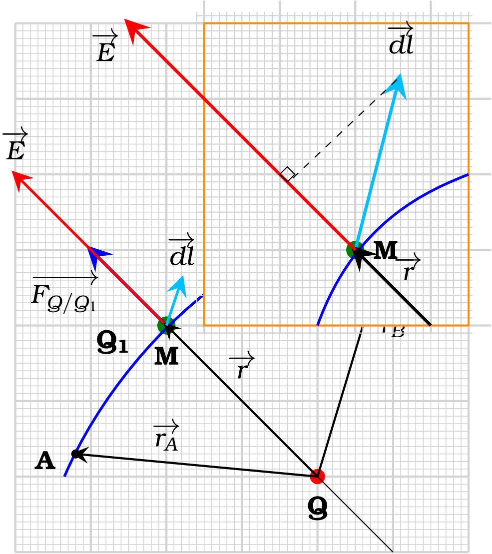

$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{r_B}$
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
B
M
$\mathbf{Q_1}$
A
Q


$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
$\overrightarrow{r_B}$
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
B
Q1
M
A
Q

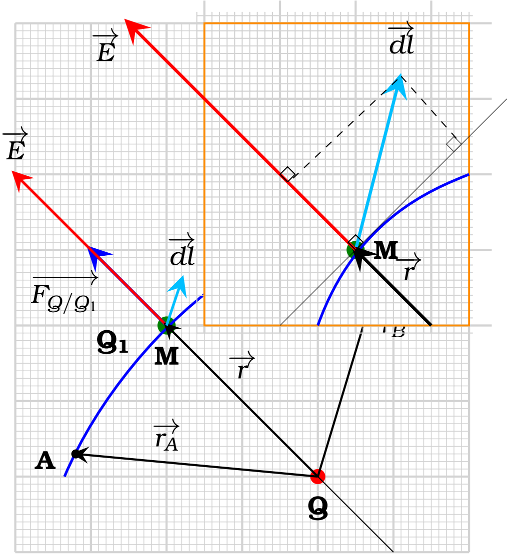

$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
Q_1
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
A
Q



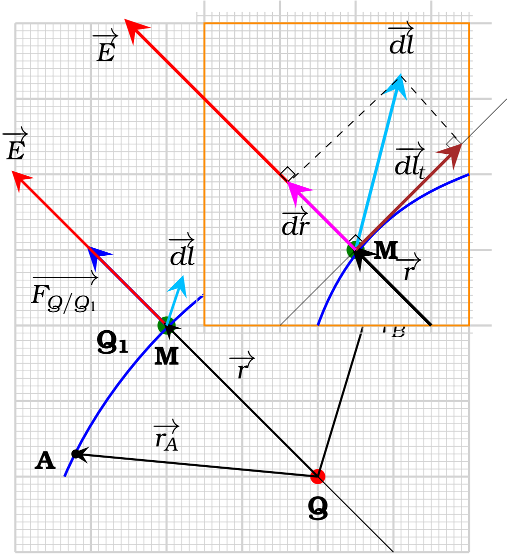
$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
Q_1
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
A
Q

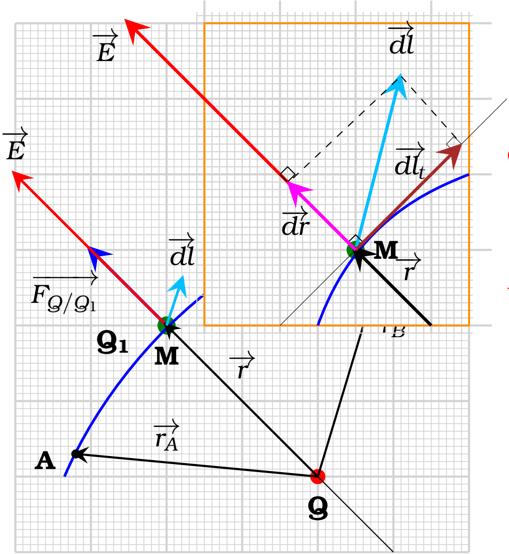


$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
r_B
Q1
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
A
Q



$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
Q_1
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
A
Q


$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{E}$
$\overrightarrow{dl_t}$
$\overrightarrow{dr}$
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{dl}$
$\overrightarrow{F_{Q/Q_1}}$
$\mathbf{Q_1}$
M
$\overrightarrow{r}$
$\overrightarrow{r_A}$
A
Q



Ainsi nous décomposons $\vec{dl}$ en deux vecteurs :

- un radial $\vec{dr}$,
- un autre tangentiel $\vec{dl_t}$.

telle que :

$$\boxed{\vec{dl} = \vec{dr} + \vec{dl_t}}$$

Le champ en M s'écrit :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \tag{55}$$

Le champ en M s'écrit :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \tag{55}$$

Le potentiel est :

$$\begin{aligned}
V &= -\int \vec{E} \bullet \vec{dl} = -\int \underbrace{\vec{E} \bullet \vec{dr}}_{\|\vec{E}\|dr} + (-)\int \underbrace{\vec{E} \bullet \overrightarrow{dl_t}}_{\|\vec{E}\|\times dl_t cos(90^\circ)=0} \\
&= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int \frac{q}{r^2}.dr \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}.\frac{q}{r} + Cte
\end{aligned}$$

Si $r \longrightarrow \infty$, $V \longrightarrow 0$; on peut donc remplacer l'intégrale précédente par l'intégrale définie comme :

$$V = -\int_{\infty}^{r} \vec{E} \bullet \vec{dl} = -\int_{r}^{\infty} \vec{E} \bullet \vec{dl} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \tag{56}$$

Si $r \longrightarrow \infty$, $V \longrightarrow 0$; on peut donc remplacer l'intégrale précédente par l'intégrale définie comme :

$$V = -\int_{\infty}^{r} \vec{E} \bullet \vec{dl} = -\int_{r}^{\infty} \vec{E} \bullet \vec{dl} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \tag{56}$$

Ainsi V apparaît comme le travail d'une charge qui se déplace de l'infini à la distance $\vec{r}$ de O.

Si $r \longrightarrow \infty$, $V \longrightarrow 0$; on peut donc remplacer l'intégrale précédente par l'intégrale définie comme :

$$V = -\int_{\infty}^{r} \vec{E} \bullet \vec{dl} = -\int_{r}^{\infty} \vec{E} \bullet \vec{dl} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \tag{56}$$

Ainsi V apparaît comme le travail d'une charge qui se déplace de l'infini à la distance $\vec{r}$ de O. La d.d.p. entre 2 points A et B situés respectivement à des distances r_A et r_B de O est :

$$V_A - V_B = \left[\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}\right]_{r_B}^{r_A} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right) \tag{57}$$

Cette nouvelle grandeur V qui n'est définie qu'à une constante prés, s'appelle le **potentiel électrique** au point M.

Cette nouvelle grandeur V qui n'est définie qu'à une constante prés, s'appelle le **potentiel électrique** au point M. C'est aussi le travail d'une charge ponctuelle unitaire ($q = 1C$) se déplaçant de A à B.

Cette nouvelle grandeur V qui n'est définie qu'à une constante prés, s'appelle le **potentiel électrique** au point M. C'est aussi le travail d'une charge ponctuelle unitaire ($q = 1C$) se déplaçant de A à B.
L'expression $V_A - V_B$ s'appelle la différence de potentiel entre le point A et B (**d.d.p**).
Cette grandeur peut être mesurée à l'aide d'un voltmètre.

Une **d.d.p** s'exprime en *Volt* V. Un *Volt* est la **d.d.p** existant entre deux points lorsqu'une charge de 1 C se déplaçant entre deux points met en jeu un travail de 1 *Joule*

$$1 Volt = 1 \ \ Joule/Coulomb \tag{58}$$

Les surfaces équipotentielles sont des surfaces dont tous les points sont à un même potentiel électrique,

Les surfaces équipotentielles sont des surfaces dont tous les points sont à un même potentiel électrique,
la terre par exemple où le potentiel est habituellement pris comme potentiel de référence et on lui attribue la valeur nulle (masse).

Les surfaces équipotentielles sont des surfaces dont tous les points sont à un même potentiel électrique,
la terre par exemple où le potentiel est habituellement pris comme potentiel de référence et on lui attribue la valeur nulle (masse).
La d.d.p. entre deux points quelconques d'une surface équipotentielle est toujours nulle. Ainsi les **Surfaces équipotentielles** sont telles que :

$$V(r) = E \bullet dl = \frac{kQ}{r}\, r = cte \quad \Longleftrightarrow \quad V = cte$$

Les surfaces sont des sphères centrés centrées sur la charge. **Donc les lignes de champ sont normales aux surfaces équipotentielles.**

$$V(r) = E \bullet dl = \frac{kQ}{r}\, r = cte \quad \Longleftrightarrow \quad V = cte$$

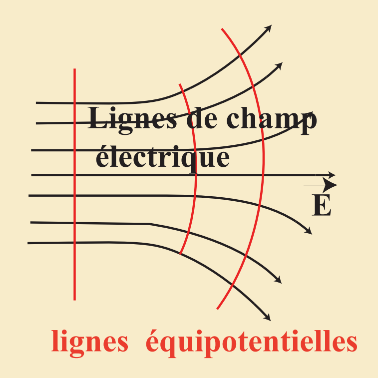
Les surfaces sont des sphères centrés centrées sur la charge. **Donc les lignes de champ sont normales aux surfaces équipotentielles.**

$$V(r) = E \bullet dl = \frac{kQ}{r}\ r = cte \quad \Longleftrightarrow \quad V = cte$$

Les surfaces sont des sphères centrés centrées sur la charge. **Donc les lignes de champ sont normales aux surfaces équipotentielles.** Cela est toujours vrai: le déplacement d'une charge de dl sur une surface $V = cte$ implique $\Delta V = 0$, donc un travail nul, donc

$$W = \vec{dl} \bullet \vec{E} = 0 \Longrightarrow \vec{dl} \perp \vec{E} \tag{59}$$

pour des $\vec{E}$ et $\vec{dl}$ quelconques.



Les équipotentielles sont partout perpendiculaires aux lignes de champ électrique.

Part IV

Le dipôle électrique

Le dipôle électrique

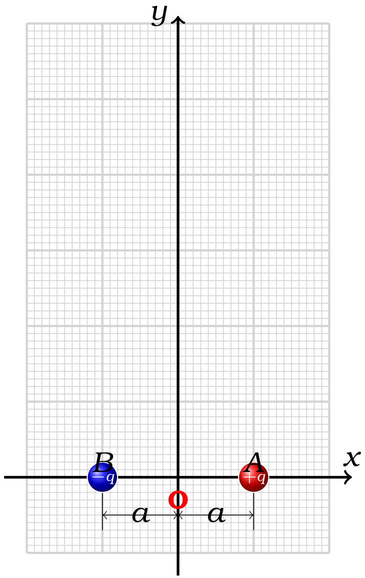
Sommaire

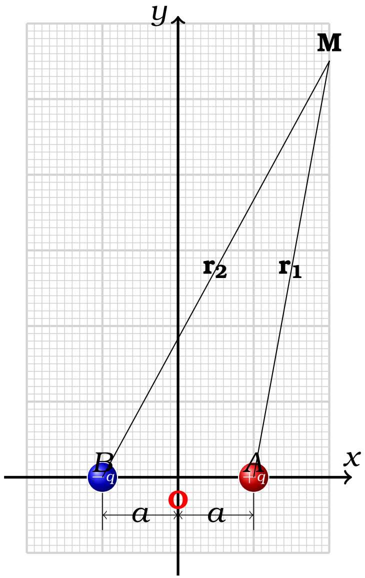
Il existe dans la nature des systèmes globalement électriquement neutres mais dont le centre de gravité des charges négatives n'est pas confondu avec celui des charges positives.

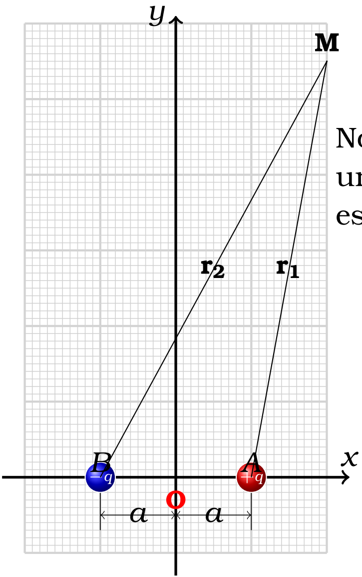
Il existe dans la nature des systèmes globalement électriquement neutres mais dont le centre de gravité des charges négatives n'est pas confondu avec celui des charges positives. Un tel système peut souvent être décrit (on dit modélisé) en première approximation par deux charges électriques ponctuelles, $+q$ et $-q$ situées à une distance d l'une de l'autre.

Il existe dans la nature des systèmes globalement électriquement neutres mais dont le centre de gravité des charges négatives n'est pas confondu avec celui des charges positives. Un tel système peut souvent être décrit (on dit modélisé) en première approximation par deux charges électriques ponctuelles, $+q$ et $-q$ situées à une distance d l'une de l'autre. On appelle un tel système de charges un **dipôle** électrostatique.
Les molécules telles que HCL, CO, H_20, CO_2 constituent des exemples de dipôles électrostatiques.

Sommaire

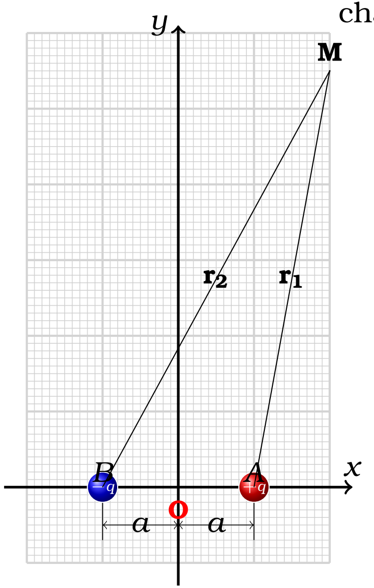

y
x
B
−q
A
+q
O
a
a


y
M
r_2
r_1
B
A
x
$-q$
$+q$
O
a
a



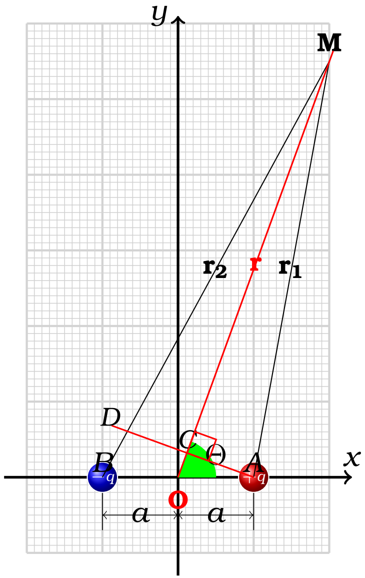
Nous avons vu que le potentiel crée en un point M par une charge ponctuelle est simplement:

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}.\frac{q}{r} \qquad (60)$$

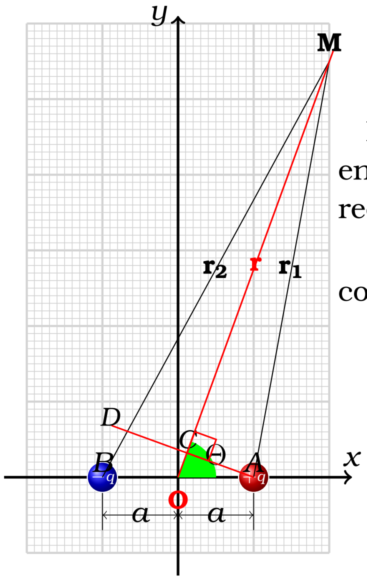


d'où dans le cas du doublet chaque charge contribue au potentiel en M :

$$
\begin{aligned}
V(M) &= V_{-q}(M) + V_{+q}(M) \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{-q}{r_{-q}} + \frac{+q}{r_{+q}} \right) \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2} \right) \\
&= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \\
&= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2} \right)
\end{aligned}
$$

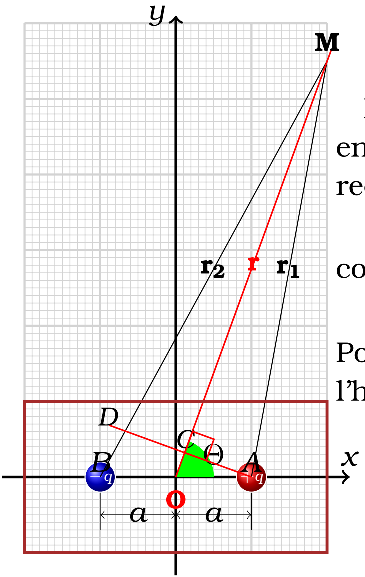


y
M
$\mathbf{r_2}$
$\mathbf{r}$
$\mathbf{r_1}$
D
C
Θ
B
A
x
−q
+q
O
a
a



IL s'agit maintenant d'exprimer $r_1 - r_2$ en fonction de a et de r. Dans le triangle rectangle AOC, nous pouvons écrire :

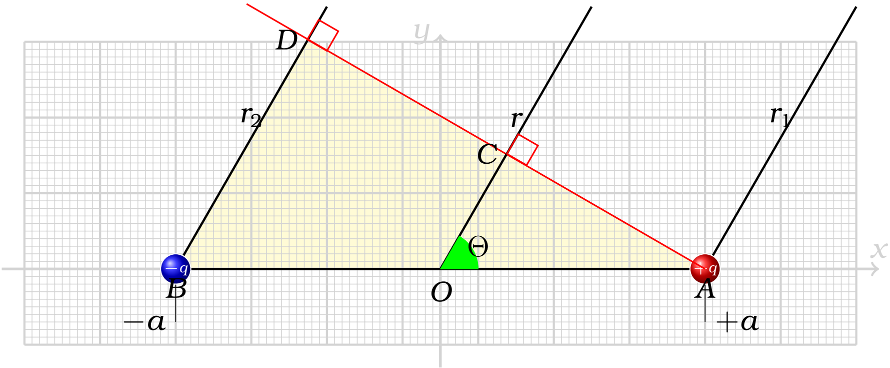
$$\cos\Theta = \frac{OC}{OA} \Longrightarrow OC = OA.\cos\Theta = a.\cos\Theta \tag{60}$$



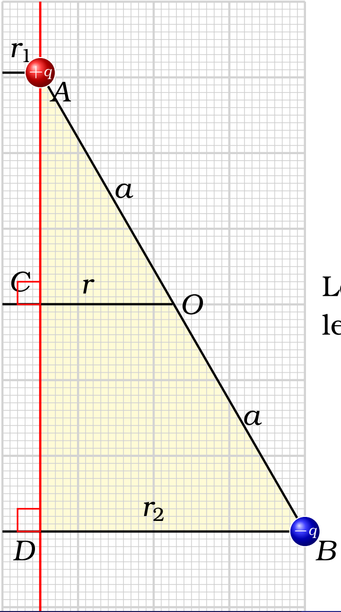
IL s'agit maintenant d'exprimer $r_1 - r_2$ en fonction de a et de r. Dans le triangle rectangle AOC, nous pouvons écrire :

$$\cos\Theta = \frac{OC}{OA} \Longrightarrow OC = OA.\cos\Theta = a.\cos\Theta \tag{60}$$

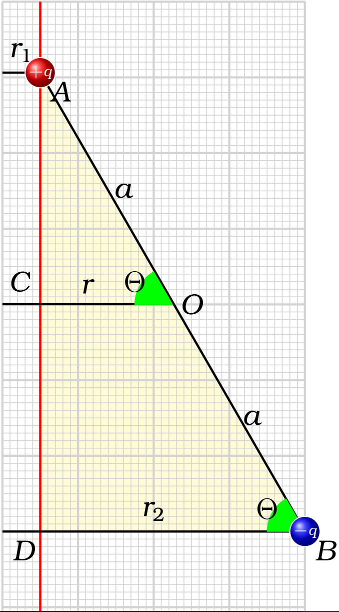
Pour celà nous allons retenir l'hypothèse que $r \gg a$.

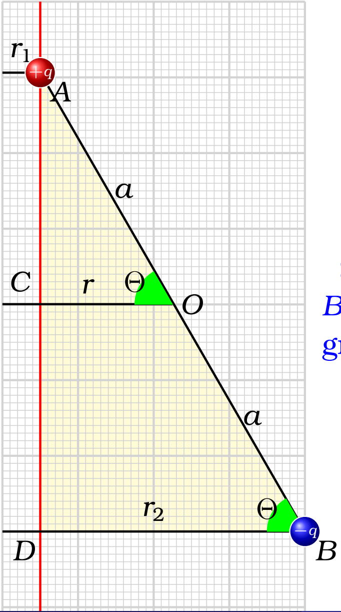


D
r_2
y
r
r_1
C
Θ
x
$-q$
$+q$
B
O
A
$-a$
$+a$

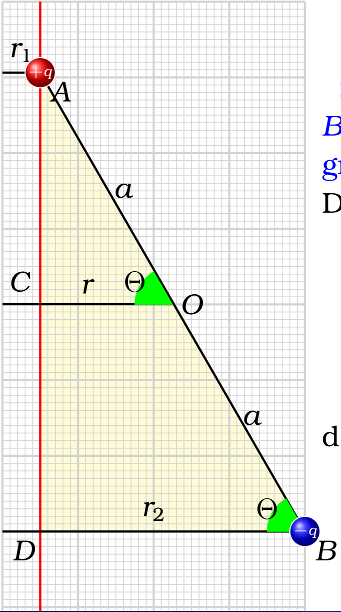


Les segments r et r_2 sont parallèles d'où les angles $\Rightarrow$ $\widehat{\mathbf{DBA}}$ et $\widehat{\mathbf{COA}}$.


r_1
$+q$
A
a
C
r
Θ
O
a
r_2
Θ
$-q$
D
B



$\mathbf{r_2} - \mathbf{r_1}$ n'est rien d'autre que le segment BD, nous allons donc déterminer cette grandeur.



$\mathbf{r_2} - \mathbf{r_1}$ n'est rien d'autre que le segment BD, nous allons donc déterminer cette grandeur.

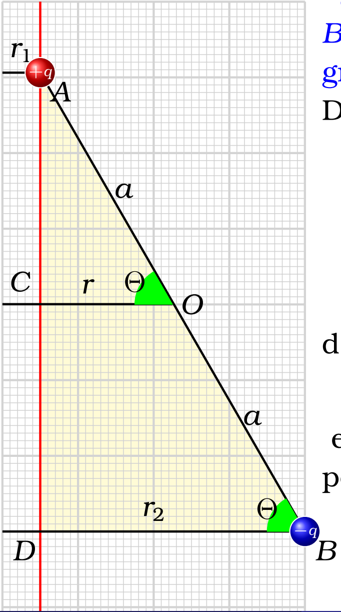
Dans l'hypothèse $r \gg a$:

$$\frac{BD}{BA} = \frac{BD}{2a} = \cos\Theta \qquad (61)$$

$$= \frac{r_2 - r_1}{2a} = \cos\Theta \qquad (62)$$

d'où :

$$\boxed{r_2 - r_1 = 2a\cos\Theta} \qquad (63)$$



$\mathbf{r_2} - \mathbf{r_1}$ n'est rien d'autre que le segment BD, nous allons donc déterminer cette grandeur.

Dans l'hypothèse $r \gg a$:

$$\frac{BD}{BA} = \frac{BD}{2a} = \cos\Theta \tag{61}$$

$$= \frac{r_2 - r_1}{2a} = \cos\Theta \tag{62}$$

d'où :

$$\boxed{r_2 - r_1 = 2a\cos\Theta} \tag{63}$$

et dans la même approximation nous pouvons démontrer que :

$$\boxed{r_1 . r_2 \approx r^2} \tag{64}$$

Dans ce cas :

$$V(M) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} . \frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2} \qquad (65)$$

Peut s'écrire :

Dans ce cas :

$$V(M) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} . \frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2} \tag{65}$$

Peut s'écrire :

$$V(M) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} . \frac{2a \cos\Theta}{r^2} \tag{66}$$

Dans ce cas :

$$V(M) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}.\frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2} \tag{65}$$

Peut s'écrire :

$$V(M) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}.\frac{2a\cos\Theta}{r^2} \tag{66}$$

Posons $\mathcal{M} = 2aq$, cette grandeur est appelée **Moment du dipôle** et l'équation précédente du potentiel s'écrit en fonction de cette grandeur :

$$\boxed{V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}.\frac{\mathcal{M}\cos\Theta}{r^2}} \tag{67}$$

Une fibre **myocardique** aussi bien qu'une portion du myocarde en cours de dépolarisation peuvent être représentées comme une zone encore au repos et donc électropositive, séparée d'une zone déjà activée, devenue électronégative.

Une fibre **myocardique** aussi bien qu'une portion du myocarde en cours de dépolarisation peuvent être représentées comme une zone encore au repos et donc électropositive, séparée d'une zone déjà activée, devenue électronégative. Le front d'onde d'activation est cette surface qui sépare zones activées et zones au repos : des charges négatives et positives y sont disposées face à face.L'ensemble de ces charges électriques constitue un "doublet" $-+$, encore appelé "**dipôle**" : il représente le générateur électrique élémentaire.

Chacun de ces dipôles peut être représenté graphiquement sous forme d'un "vecteur", c'est-à-dire une force électrique qui a une grandeur (amplitude) et une orientation spatiale. A chaque instant de la dépolarisation il existe une multitude de dipôles, donc de vecteurs, issus des diverses régions qui sont en cours d'activation.

Chacun de ces dipôles peut être représenté graphiquement sous forme d'un "vecteur", c'est-à-dire une force électrique qui a une grandeur (amplitude) et une orientation spatiale. A chaque instant de la dépolarisation il existe une multitude de dipôles, donc de vecteurs, issus des diverses régions qui sont en cours d'activation. La somme de tous ces vecteurs peut se résumer sous forme d'un vecteur unique qui est le vecteur résultant instantané. L'amplitude et l'orientation de ce vecteur résultant dépendent de la localisation et de l'importance respective des zones successivement activées dans le myocarde.

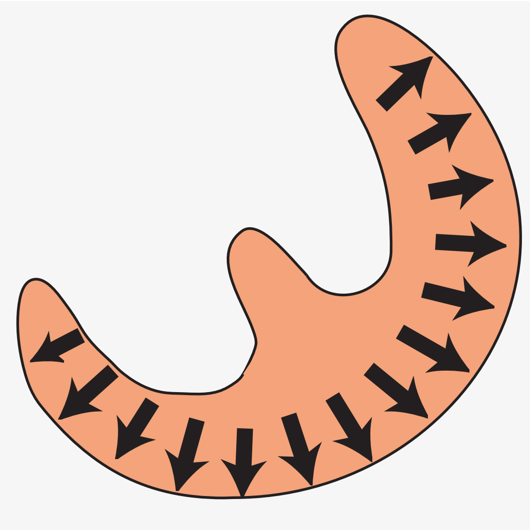


Figure: Les vecteurs d'activation cardiaque

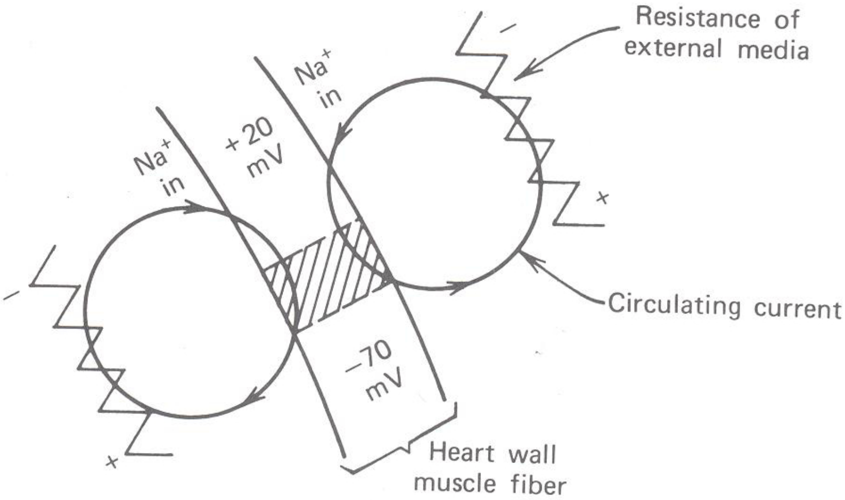


Figure: Potentiel au niveau d'une fibre **myocardique**

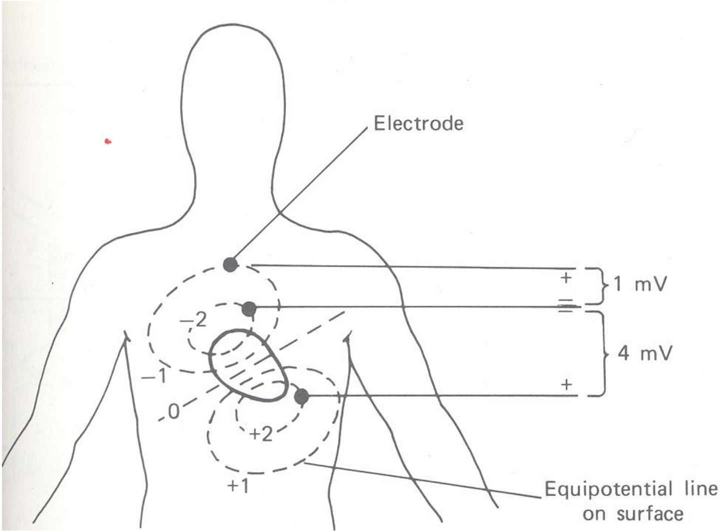


Figure: Potentiel au niveau de la poitrine

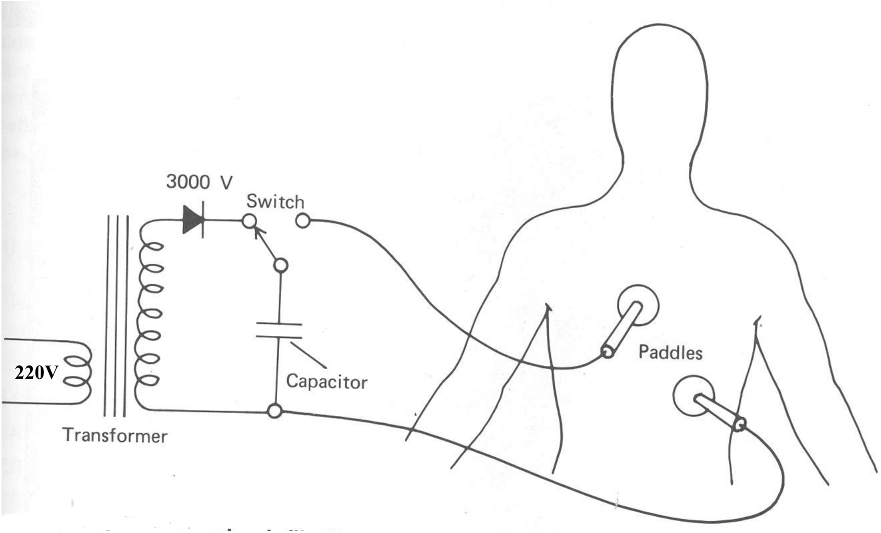


Figure: Principe du défibrillateur

Part V

Le Condensateur

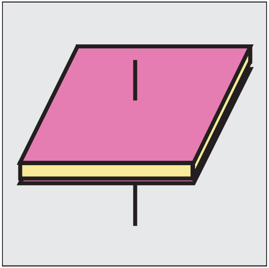
Le Condensateur

10 Le Condensateur

- Introduction.
- Capacité d'un conducteur isolé.
- Condensateur : Charge d'un condensateur
- Capacité d'un condensateur
- Capacité d'un condensateur : Unité
- Capacité d'une sphère isolée
- Capacité d'une condensateur plan
- Capacité : ordre de grandeur de ε_0.
- Schéma d'un condensateur
- Groupement de condensateurs en série.
- Groupement de condensateurs en parallèle.
- Énergie emmagasinée par un condensateur
- Exercice

Sommaire

Un condensateur est assimilable à deux plaques conductrices disposées face à face. En règle générale on pourra dire qu 'un condensateur est constitué de deux conducteurs séparés par un isolant (appelé également diélectrique) , cet isolant peut être l 'air ambiant par exemple.



Considérons un **conducteur** chargé, limité par la surface S, à l'équilibre électrostatique et isolé dans l'espace. Nous pouvons démontrer que, dans ces conditions, la charge électrique Q qu'il porte est répartie sur sa surface et que le potentiel $V(P)$ est le même en tout point P du conducteur:

$$V(P) = V \tag{68}$$

Si on note $\sigma(M)$ la densité de charges au point M de la surface S et que le potentiel est supposé nul à l'infini, en tout point P du conducteur on a les relations :

$$Q = \int\int_S \sigma(M) ds \tag{69}$$

Si on note $\sigma(M)$ la densité de charges au point M de la surface S et que le potentiel est supposé nul à l'infini, en tout point P du conducteur on a les relations :

$$Q = \int\int_S \sigma(M) ds \tag{69}$$

et

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int\int_S \frac{\sigma(M) ds}{|MP|} \tag{70}$$

où dS est l'élément de surface entourant le point M.

Il apparaît que pour un conducteur donné, défini par sa surface S, présentant une densité surfacique de charges $\sigma(M)$ correspond des valeurs uniques de potentiel et de charge.

Il apparaît que pour un conducteur donné, défini par sa surface S, présentant une densité surfacique de charges $\sigma(M)$ correspond des valeurs uniques de potentiel et de charge. Il existe donc une relation linéaire **biunivoque** entre la charge et le potentiel d'un conducteur isolé à l'équilibre électrostatique:

$$Q = CV \tag{71}$$

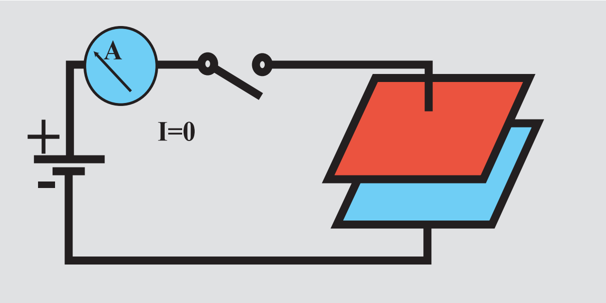
Il apparaît que pour un conducteur donné, défini par sa surface S, présentant une densité surfacique de charges $\sigma(M)$ correspond des valeurs uniques de potentiel et de charge. Il existe donc une relation linéaire **biunivoque** entre la charge et le potentiel d'un conducteur isolé à l'équilibre électrostatique:

$$Q = CV \tag{71}$$

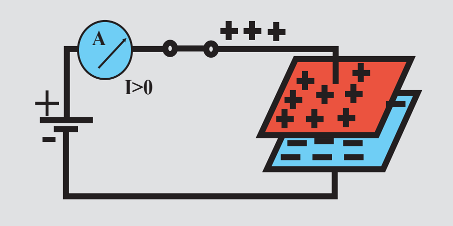
Le coefficient C ne dépend que de la forme du conducteur, c'est la capacité du conducteur.

Lorsque l’on applique une tension aux bornes d’un condensateur

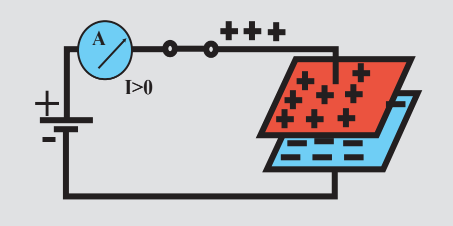
Lorsque l'on applique une tension aux bornes d'un condensateur



Lorsque l'on applique une tension aux bornes d'un condensateur celui-ci se charge et conserve une quantité d'électricité (Q) , proportionnelle à la tension appliquée.



Lorsque l'on applique une tension aux bornes d'un condensateur celui-ci se charge et conserve une quantité d'électricité (Q) , proportionnelle à la tension appliquée.



Cette quantité d'électricité est en fait de l'énergie emmagasinée, celle-ci sera restituée lorsque le condensateur se déchargera. **Le condensateur est donc un réservoir d'énergie qui se remplie ou se vide.**

Soumis à une tension **U**, un condensateur possède la propriété de se charger et de conserver une charge électrique **Q**, proportionnelle à **U**..

Soumis à une tension **U**, un condensateur possède la propriété de se charger et de conserver une charge électrique **Q**, proportionnelle à **U**. Cette énergie est restituée lors de la décharge du condensateur.

Soumis à une tension **U**, un condensateur possède la propriété de se charger et de conserver une charge électrique **Q**, proportionnelle à **U**. Cette énergie est restituée lors de la décharge du condensateur. Ces phénomènes de charge et de décharge ne sont pas instantanés; ce sont des phénomènes transitoires, liés à une durée.

$$\boxed{\mathbf{Q} = \mathbf{UC};} \quad \mathbf{C} \text{ est la } \textbf{capacité} \text{ du condensateur.} \tag{72}$$

Un condensateur est caractérisé par sa capacité, celle-ci est exprimée en *FARAD* [1], 1 *FARAD* noté *F*.

[1]tiré du nom du physicien **Michael Faraday**:physicien anglais:1791 – 1867.

Un condensateur est caractérisé par sa capacité, celle-ci est exprimée en *FARAD* [1], 1 *FARAD* noté F.

le ***Frarad*** correspond à une charge emmagasinée de 1 *Coulomb* sous une tension d 'alimentation de 1 *Volt*. On utilise aussi les sous multiples :

$$\begin{aligned} microfarad &= \mu F = 10^{-6} F \\ nanofarad &= nF = 10^{-9} F \\ picofarad &= pF = 10^{-12} F \end{aligned}$$

[1] tiré du nom du physicien **Michael Faraday**:physicien

Nous avons admis la proportionnalité entre la charge et la tension de charge d'un condensateur $Q = CU$. Nous allons démontrer cette proportionnalité dans le cas d'une sphere chargée.

Nous avons admis la proportionnalité entre la charge et la tension de charge d'un condensateur $Q = CU$. Nous allons démontrer cette proportionnalité dans le cas d'une sphere chargée.

Nous avons admis la proportionnalité entre la charge et la tension de charge d'un condensateur $Q = CU$. Nous allons démontrer cette proportionnalité dans le cas d'une sphere chargée. Soit Q la charge de cette sphère de rayon r, nous avons vu que le potentiel crée par cette charge Q à une distance r peut s'écrire sous la forme :

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} . \frac{Q}{r} \tag{73}$$

Capacité d'une sphère isolée

Cette exression de V peut s'écrire sous la forme:

$$V = \frac{Q}{C} \tag{74}$$

avec

$$C = 4\pi\varepsilon_0 r \tag{75}$$

Remarque : C ne dépend que de la géométrie considérée et de la permittivité.

Considérons un condensateur dont les armatures sont planes. Ces armatures présentent une densité de charge σ. Un champ électrique est produit par les charges présentes sur les armatures du condensateur.

Considérons un condensateur dont les armatures sont planes. Ces armatures présentent une densité de charge σ. Un champ électrique est produit par les charges présentes sur les armatures du condensateur. Chaque armature produit un champ électrique dans le condensateur plan (rempli d'air) en un point M entre les deux armatures, dont l'intensité est:

$$|\overrightarrow{E_{Q^+}}| = |\overrightarrow{E_{Q^-}}| = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \tag{76}$$

Nous additionnons les intensités des champs, car les champs crées par Q^+ et Q^- ont le même sens et la même direction !

Considérons un condensateur dont les armatures sont planes. Ces armatures présentent une densité de charge σ. Un champ électrique est produit par les charges présentes sur les armatures du condensateur. Chaque armature produit un champ électrique dans le condensateur plan (rempli d'air) en un point M entre les deux armatures, dont l'intensité est:

$$|\overrightarrow{E_{Q^+}}| = |\overrightarrow{E_{Q^-}}| = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \tag{76}$$

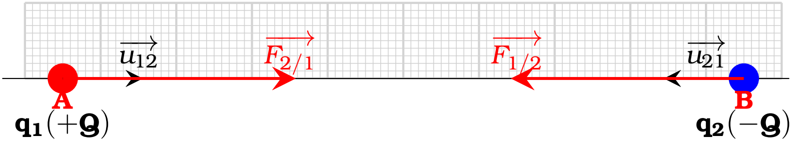
d'ou l'intensité totale du champ au point M

$$|\overrightarrow{E}| = E = |\overrightarrow{E_{Q^+}}| + |\overrightarrow{E_{Q^-}}| = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \tag{77}$$

Nous additionnons les intensités des champs, car les champs crées par Q^+ et Q^- ont le même sens et la même direction !

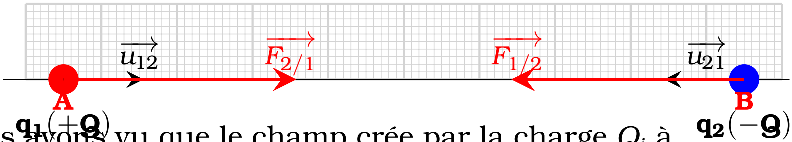
Capacité d'une condensateur plan : **Explication**

Les deux charges sont de signe opposé.



Capacité d'une condensateur plan : **Explication**

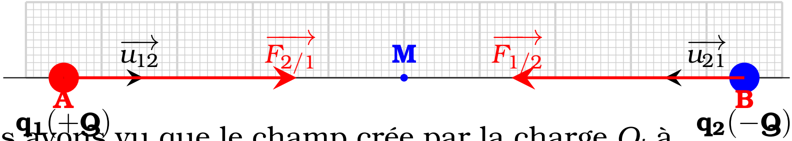
Les deux charges sont de signe opposé.



Nous avons vu que le champ crée par la charge Q_i à l'emplacement de la charge Q_j est : $\overrightarrow{E_i} = \frac{\overrightarrow{F_{i/j}}}{Q_j}$.

Capacité d'une condensateur plan : **Explication**

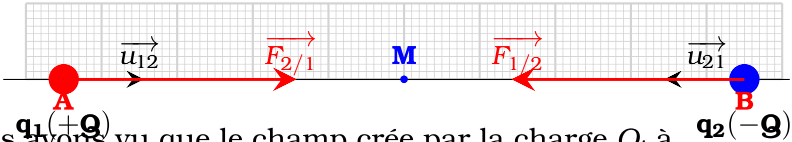
Les deux charges sont de signe opposé.



Nous avons vu que le champ crée par la charge Q_i à l'emplacement de la charge Q_j est : $\overrightarrow{E_i} = \frac{\overrightarrow{F_{i/j}}}{Q_j}$. En un point M situé au milieu de ces deux charges,

Capacité d'une condensateur plan : **Explication**

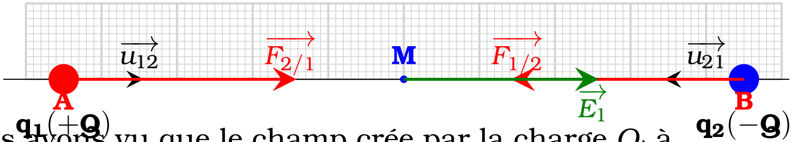
Les deux charges sont de signe opposé.



Nous avons vu que le champ crée par la charge Q_i à l'emplacement de la charge Q_j est : $\overrightarrow{E_i} = \frac{\overrightarrow{F_{i/j}}}{Q_j}$. En un point M situé au milieu de ces deux charges, chaque charge crée un champ électrique.

Capacité d'une condensateur plan : **Explication**

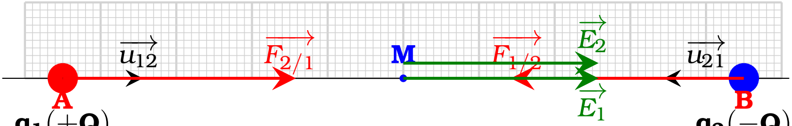
Les deux charges sont de signe opposé.



Nous avons vu que le champ crée par la charge Q_i à l'emplacement de la charge Q_j est : $\overrightarrow{E_i} = \frac{\overrightarrow{F_{i/j}}}{Q_j}$. En un point M situé au milieu de ces deux charges, chaque charge crée un champ électrique.

Capacité d'une condensateur plan : **Explication**

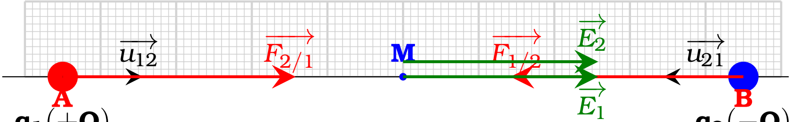
Les deux charges sont de signe opposé.



Nous avons vu que le champ crée par la charge Q_i à l'emplacement de la charge Q_j est : $\overrightarrow{E_i} = \frac{\overrightarrow{F_{i/j}}}{Q_j}$. En un point M situé au milieu de ces deux charges, chaque charge crée un champ électrique.

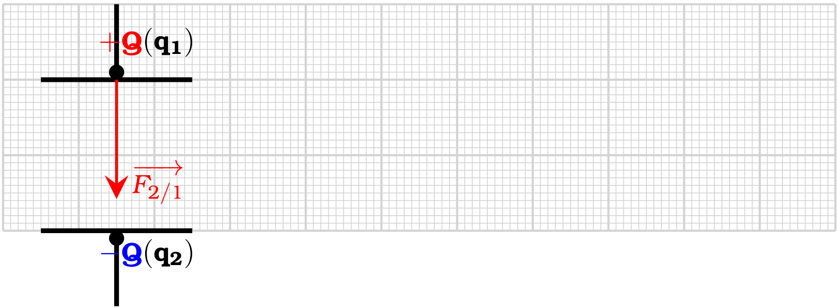
Capacité d'une condensateur plan : **Explication**

Les deux charges sont de signe opposé.

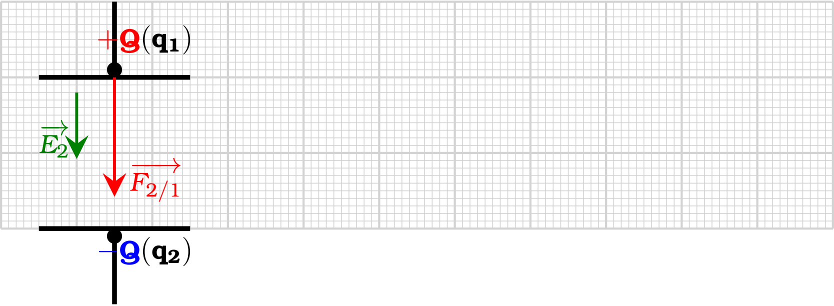


Nous avons vu que le champ crée par la charge Q_i à l'emplacement de la charge Q_j est : $\overrightarrow{E_i} = \frac{\overrightarrow{F_{i/j}}}{Q_j}$. En un point M situé au milieu de ces deux charges, chaque charge crée un champ électrique. **Les deux champs ont la même intensité, la même direction et le même sens.**

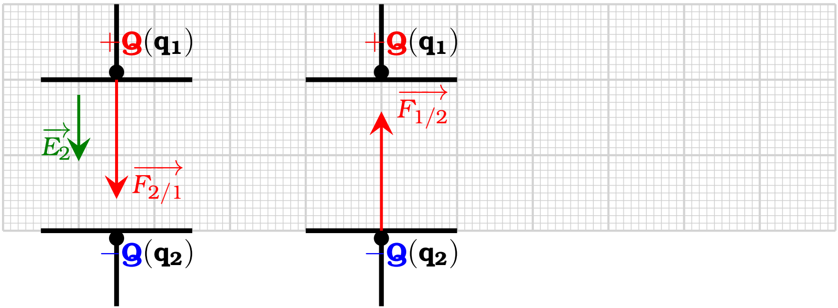
Capacité d'une condensateur plan



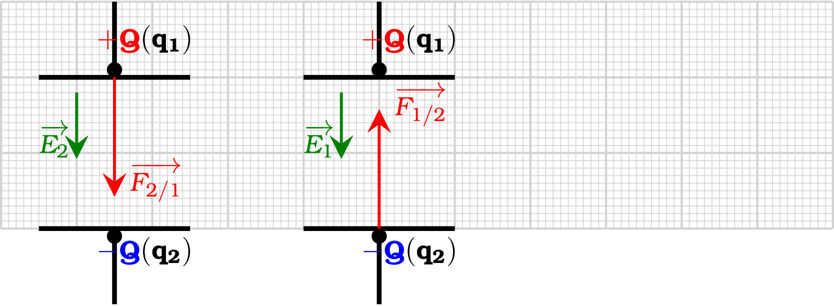
Capacité d'une condensateur plan



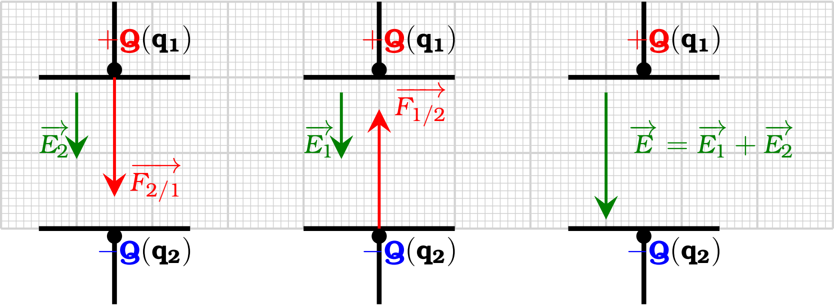
Capacité d’une condensateur plan



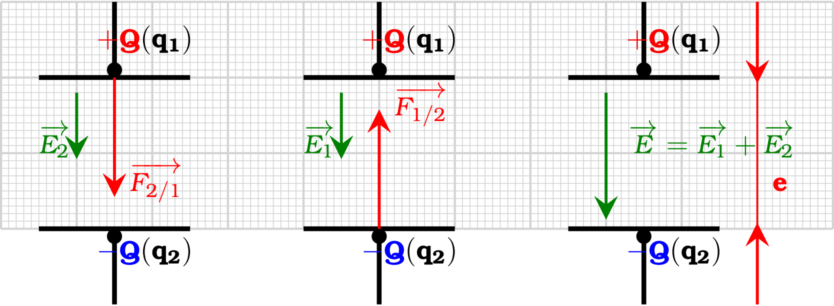
Capacité d’une condensateur plan



Capacité d'une condensateur plan



Capacité d'une condensateur plan



Si S est la surface commune des deux armatures distantes de e, le potentiel électrique entre ces deux armatures s'écrit :

$$\boxed{V = -\int_e^0 \overrightarrow{E} \bullet \overrightarrow{dl} = \int_0^e \overrightarrow{E} \bullet \overrightarrow{dl} = E \cdot e = \frac{Q \times e}{S \cdot \varepsilon_0}}$$

Capacité d'une condensateur plan

Écrivons $V = \dfrac{Q}{C}$ d'où :

$$C = \frac{Q}{V} \tag{78}$$

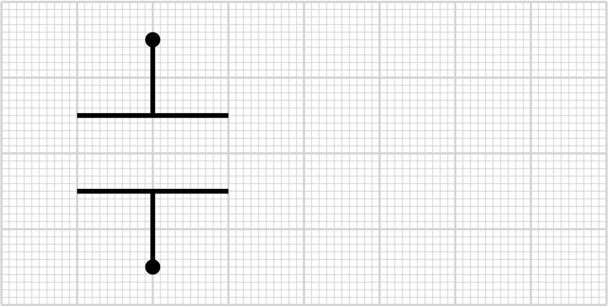
$$C = Q \cdot \frac{S \cdot \varepsilon_0}{Q \times e} \tag{79}$$

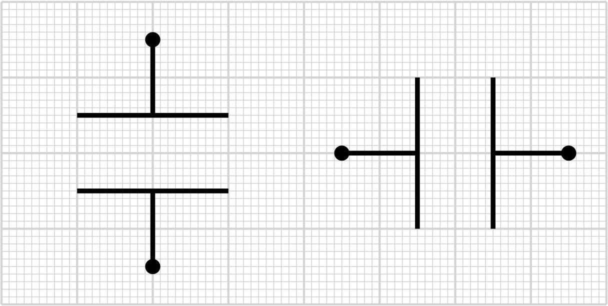
$$C = \boxed{\frac{S}{e}} \cdot \varepsilon_0 \tag{80}$$

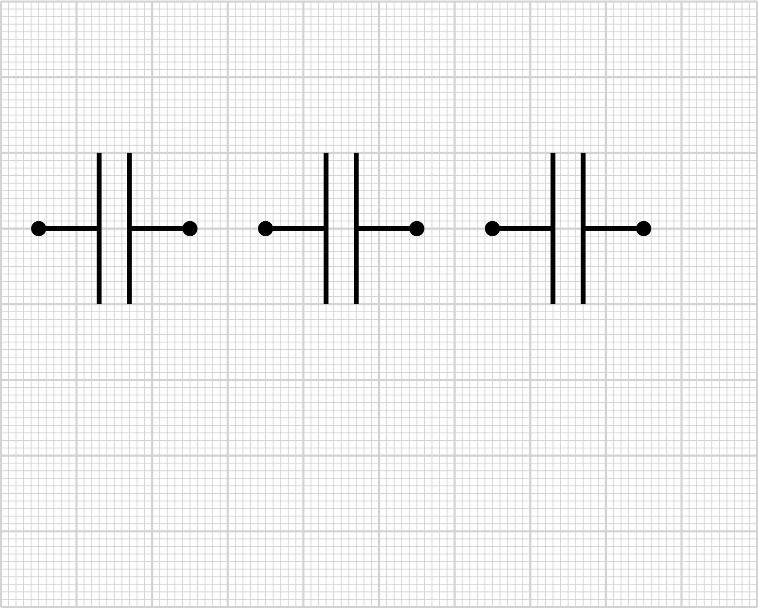
Matériau	Constante dièlectrique (ε_r)
Vide	1. 000 00
Air	1. 000 59
Backélite	4.90
nylon	3.40
papier	3.70

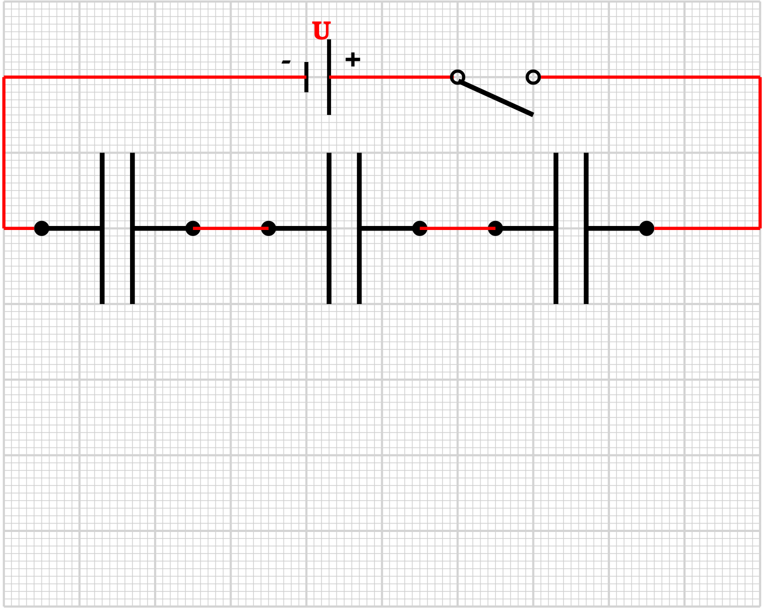
$$\boxed{C = \frac{S \cdot \varepsilon}{e}}$$

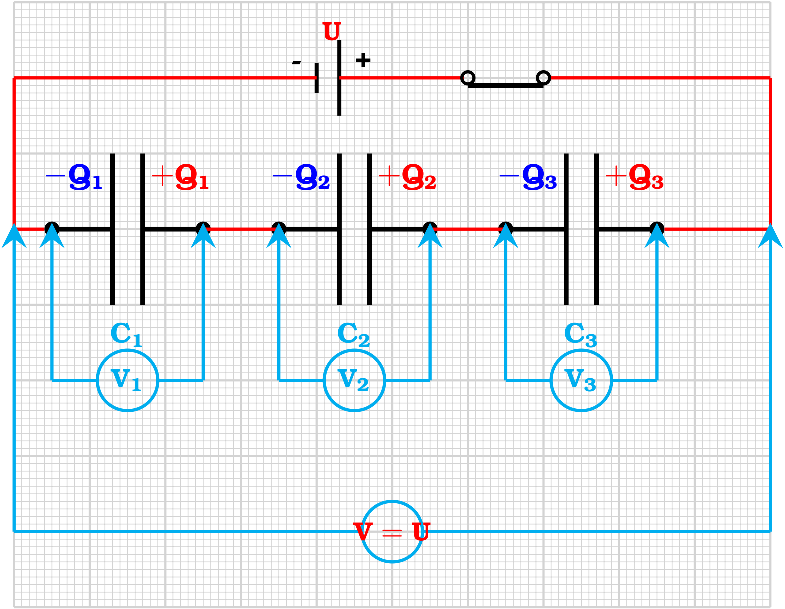
Où $\varepsilon = \varepsilon_r.\varepsilon_0$, ε_r est la permittivité relative, toujours supérieure à 1.

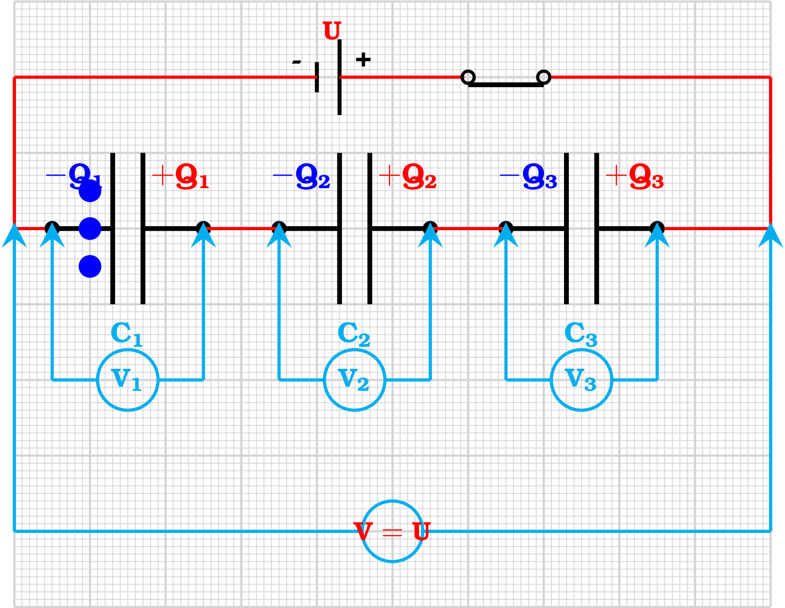


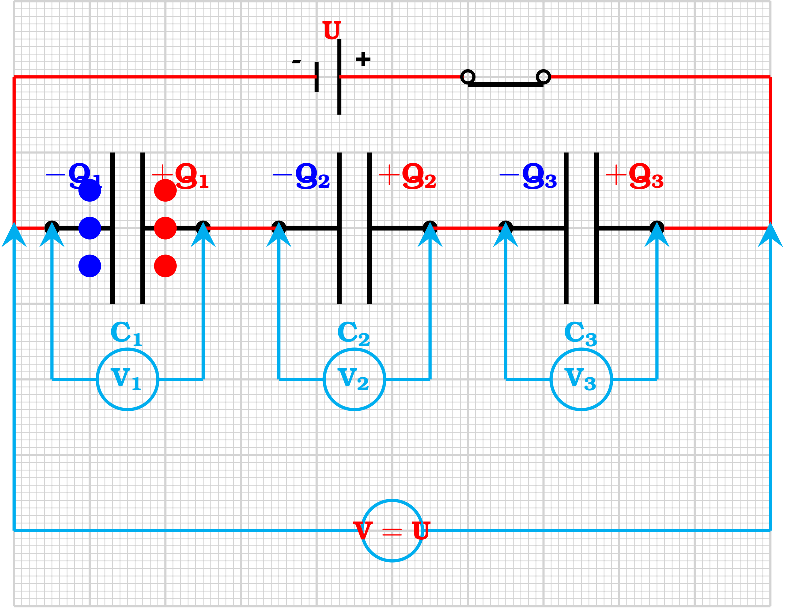


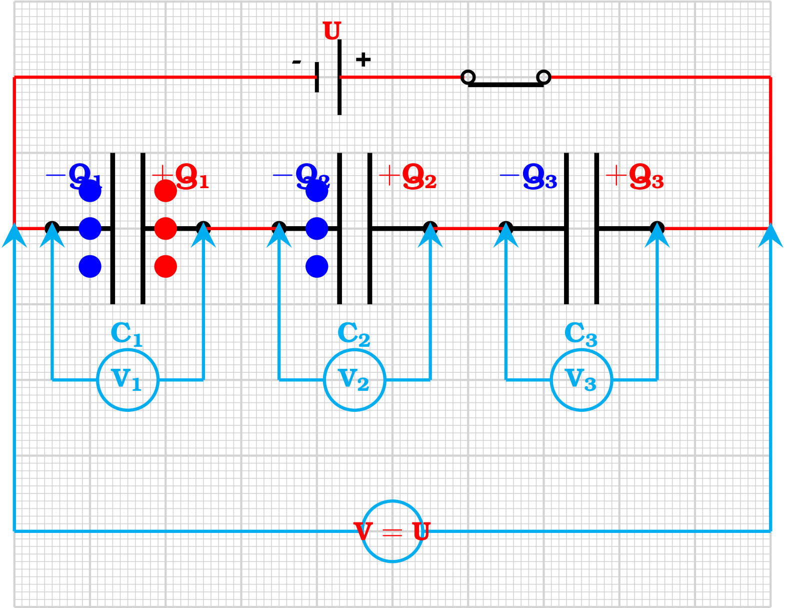


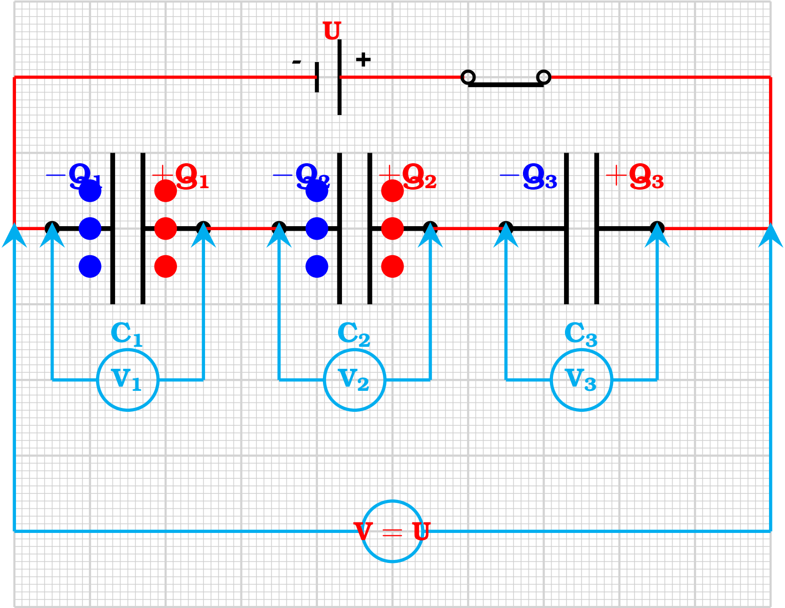

U
-
+

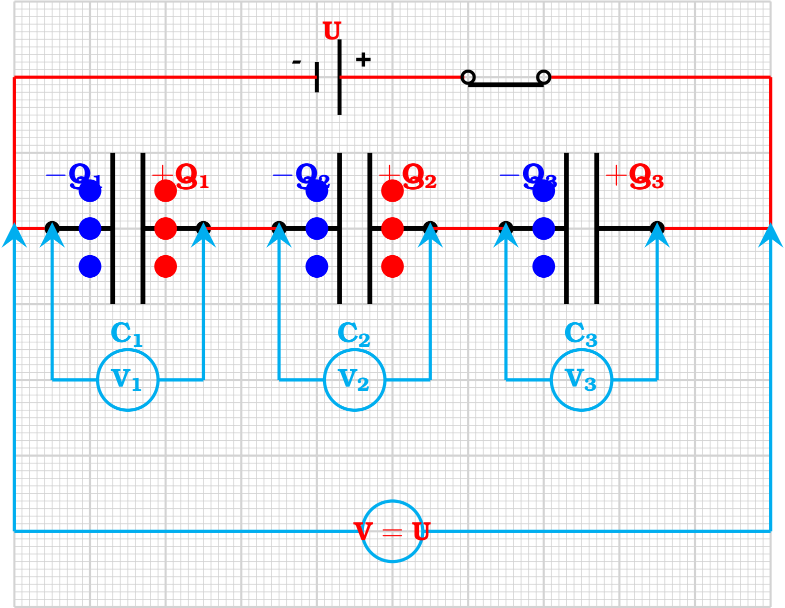

U
-
+
$-Q_1$
$+Q_1$
$-Q_2$
$+Q_2$
$-Q_3$
$+Q_3$
C_1
C_2
C_3
V_1
V_2
V_3
$V = U$

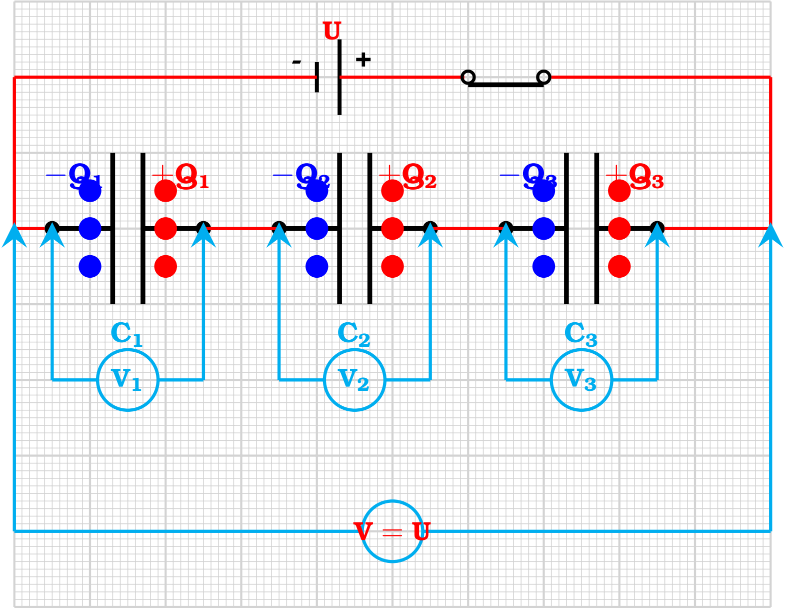

U
-
+
$-Q_1$
$+Q_1$
$-Q_2$
$+Q_2$
$-Q_3$
$+Q_3$
C_1
C_2
C_3
V_1
V_2
V_3
$V = U$


U
-
+
−Q1
+Q1
−Q2
+Q2
−Q3
+Q3
C1
C2
C3
V1
V2
V3
V = U


U
-
+
$-Q_1$
$+Q_1$
$-Q_2$
$+Q_2$
$-Q_3$
$+Q_3$
C_1
C_2
C_3
V_1
V_2
V_3
$V = U$


U
-
+
$-Q_1$
$+Q_1$
$-Q_2$
$+Q_2$
$-Q_3$
$+Q_3$
C_1
C_2
C_3
V_1
V_2
V_3
$V = U$


U
-
+
$-Q_1$
$+Q_1$
$-Q_2$
$+Q_2$
$-Q_3$
$+Q_3$
C_1
C_2
C_3
V_1
V_2
V_3
$V = U$


U
-
+
$-Q_1$
$+Q_1$
$-Q_2$
$+Q_2$
$-Q_3$
$+Q_3$
C_1
C_2
C_3
V_1
V_2
V_3
$V = U$

Groupement de condensateurs en série.

$$\begin{array}{ccccc} Q_1 & = & C_1 V_1 & = & Q \\ Q_2 & = & C_2 V_2 & = & Q \\ Q_3 & = & C_3 V_3 & = & Q \\ \vdots & = & \vdots & = & \vdots \\ Q_n & = & C_n V_n & = & Q \end{array}$$

Groupement de condensateurs en série.

$$\begin{aligned} Q_1 &= C_1 V_1 = Q \\ Q_2 &= C_2 V_2 = Q \\ Q_3 &= C_3 V_3 = Q \\ \vdots &= \vdots = \vdots \\ Q_n &= C_n V_n = Q \end{aligned}$$

$$\text{Ainsi : } C_1 V_1 = C_2 V_2 = \cdots = C_n V_n \tag{81}$$

$$\begin{cases} Q_{Serie} = Q_1 = Q_2 = \cdots = Q_n \\ V_{Serie} = V_1 + V_2 + \cdots + V_n \end{cases}$$

Groupement de condensateurs en série.

$$\begin{array}{rcccl} Q_1 & = & C_1 V_1 & = & Q \\ Q_2 & = & C_2 V_2 & = & Q \\ Q_3 & = & C_3 V_3 & = & Q \\ \vdots & = & \vdots & = & \vdots \\ Q_n & = & C_n V_n & = & Q \end{array}$$

$$\text{Ainsi : } C_1 V_1 = C_2 V_2 = \cdots = C_n V_n \tag{81}$$

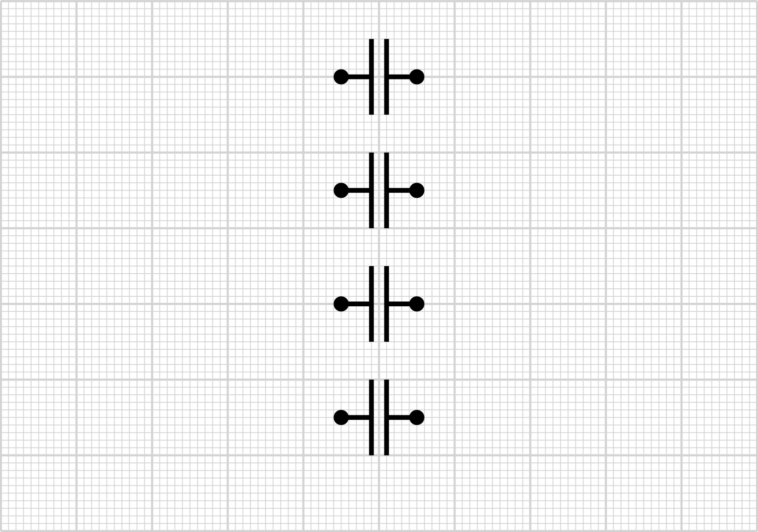
$$\begin{cases} Q_{Serie} & = & Q_1 = Q_2 = \cdots = Q_n \\ V_{Serie} & = & V_1 + V_2 + \cdots + V_n \end{cases}$$

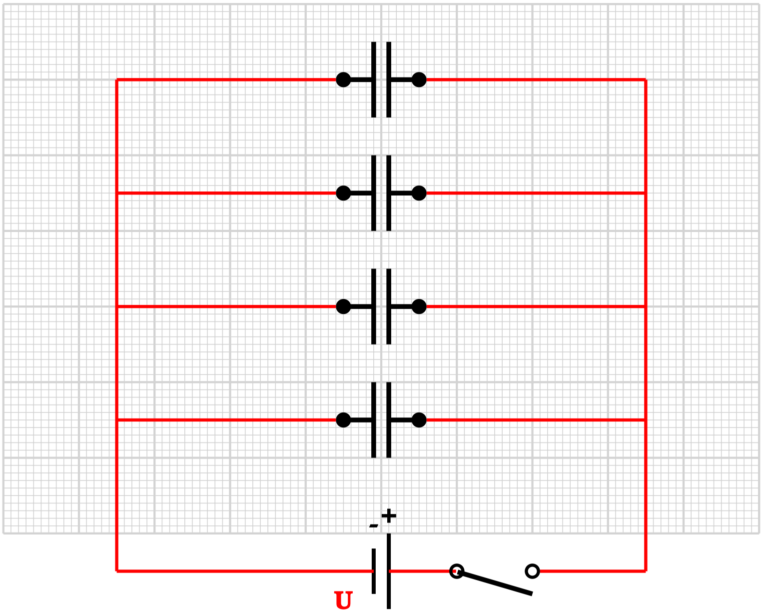
$$\Longrightarrow V_{Serie} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \cdots + \frac{Q_n}{C_n}$$

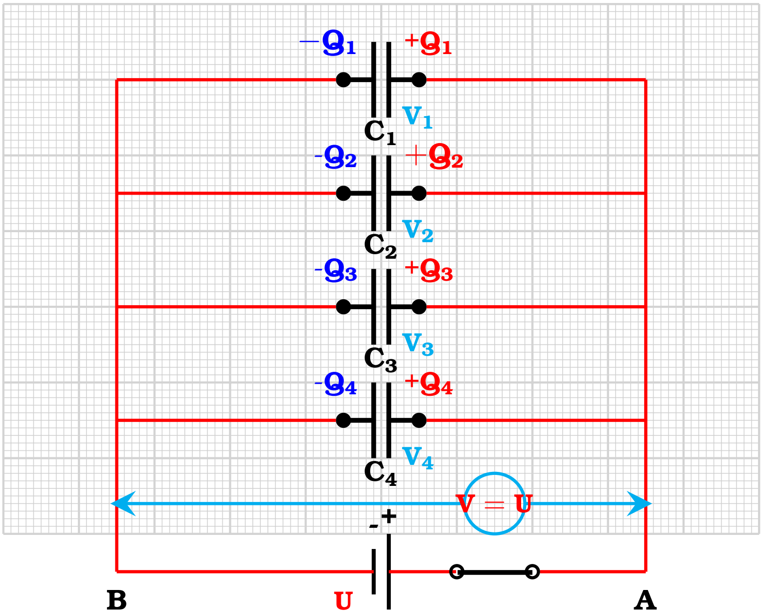
Ainsi nous pouvons écrire la dernière équation sous la forme :

$$
\begin{aligned}
V_{Serie} &= Q_{Serie}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}\right) && (82)\\
&= \frac{Q_{Serie}}{C_{Serie}} && (83)\\
\Longrightarrow \frac{1}{C_{Serie}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} && (84)
\end{aligned}
$$

$$\boxed{\frac{1}{C_{Serie}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}}$$




-
+
U


−Q1
+Q1
V1
C1
-Q2
+Q2
V2
C2
-Q3
+Q3
V3
C3
-Q4
+Q4
V4
C4
V = U
-
+
B
U
A

Groupement de condensateurs en parallèle.

Sur la figure précédente nous pouvons remarquer que tous les armatures de tous condensateurs sont soumises à la même **d.d.p.** $\mathbf{V}_{\|} = \mathbf{U}$:

$$V_{\|} = V_1 = V_2 = \cdots = V_n \tag{85}$$

Groupement de condensateurs en parallèle.

Sur la figure précédente nous pouvons remarquer que tous les armatures de tous condensateurs sont soumises à la même **d.d.p.** $\mathbf{V}_{\parallel} = \mathbf{U}$:

$$V_{\parallel} = V_1 = V_2 = \cdots = V_n \tag{85}$$

Ils ne présentent pas tous la même charge :

$$\begin{aligned} Q_1 &= V_1.C_1 && (86)\\ Q_2 &= V_2.C_2 && (87)\\ \vdots &= \vdots && (88)\\ Q_n &= V_n.C_n && (89) \end{aligned}$$

Et de la même façon nous pouvons remarquer qu'au point A, la charge accumulée va être la somme de toutes les charges apparentes sur chaque armature :

$$Q_{\|} = Q_1 + Q_2 + \cdots = Q_n \tag{90}$$

Et de la même façon nous pouvons remarquer qu'au point A, la charge accumulée va être la somme de toutes les charges apparentes sur chaque armature :

$$Q_{\parallel} = Q_1 + Q_2 + \cdots = Q_n \tag{90}$$

De toutes ces équations nous pouvons écrire :

$$\frac{Q_{\parallel}}{C_{\parallel}} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = \cdots = \frac{Q_n}{C_n} \tag{91}$$

Et de la même façon nous pouvons remarquer qu'au point A, la charge accumulée va être la somme de toutes les charges apparentes sur chaque armature :

$$Q_{\parallel} = Q_1 + Q_2 + \cdots = Q_n \tag{90}$$

De toutes ces équations nous pouvons écrire :

$$\frac{Q_{\parallel}}{C_{\parallel}} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = \cdots = \frac{Q_n}{C_n} \tag{91}$$

d'où :

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{\sum_{i=1}^{n} C_i} \tag{92}$$

Et de la même façon nous pouvons remarquer qu'au point A, la charge accumulée va être la somme de toutes les charges apparentes sur chaque armature :

$$Q_{\parallel} = Q_1 + Q_2 + \cdots = Q_n \tag{90}$$

De toutes ces équations nous pouvons écrire :

$$\frac{Q_{\parallel}}{C_{\parallel}} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = \cdots = \frac{Q_n}{C_n} \tag{91}$$

d'où :

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{\sum_{i=1}^{n} C_i} \tag{92}$$

$$\text{Par conséquence : } \boxed{C_{\parallel} = \sum_{i=1}^{n} C_i} \tag{93}$$

Groupement de condensateurs en parallèle.

$$Q_{\parallel} = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n \qquad (94)$$

Groupement de condensateurs en parallèle.

$$Q_{\parallel} = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n \tag{94}$$

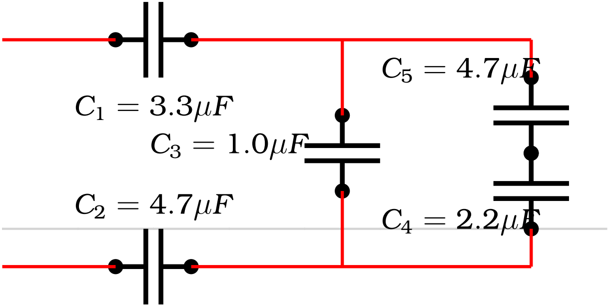
$$\begin{aligned}
C_{\parallel} U &= C_1 U_1 + C_2 U_2 + \cdots + C_n U_n \\
&= C_1 U + C_2 U + \cdots + C_n U \\
&= \Big(C_1 + C_2 + \cdots + C_n \Big) U \\
C_{\parallel} \cancel{U} &= \Big(C_1 + C_2 + \cdots + C_n \Big) \cancel{U} \\
\Rightarrow C_{\parallel} &= \Big(C_1 + C_2 + \cdots + C_n \Big)
\end{aligned}$$

Nous admettrons qu'un condensateur de capacité C et de charge Q possède une énergie W donnée par la formule :

$$\boxed{W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}}$$

En exprimant Q en *Coulomb*, C en *Farad*; W s'exprime en *Joule*. Cette équation peut s'écrire sous la forme :

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2$$



On considère l'association de condensateurs représentée sur la figure. Quelle est la capacité du condensateur équivalent à toute l'association? Donnée : $\frac{1}{2.2} = 0.45, \frac{1}{4.7} = 0.21, \frac{1}{0.66} = 1.5,$ $\frac{1}{2.5} = 0.4$, $\frac{1}{3.3} = 0.3$ et $\frac{1}{0.91} = 1.1;$

Considérons tout d'abord le couple de condensateurs C_4 et C_5. Ces deux condensateurs sont en série, leur capacité équivalente $C_4^{'}$ s'écrit :

Considérons tout d'abord le couple de condensateurs C_4 et C_5. Ces deux condensateurs sont en série, leur capacité équivalente $C_4^{'}$ s'écrit :

Considérons tout d'abord le couple de condensateurs C_4 et C_5. Ces deux condensateurs sont en série, leur capacité équivalente $C_4^{'}$ s'écrit :

$$\frac{1}{C_4^{'}} = \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}$$

Considérons tout d'abord le couple de condensateurs C_4 et C_5. Ces deux condensateurs sont en série, leur capacité équivalente $C_4^{'}$ s'écrit :

$$\begin{aligned}\frac{1}{C_4^{'}} &= \frac{1}{C_4}+\frac{1}{C_5}\\ &= \frac{1}{2.2\times 10^{-6}}+\frac{1}{4.7\times 10^{-6}}\end{aligned}$$

Considérons tout d'abord le couple de condensateurs C_4 et C_5. Ces deux condensateurs sont en série, leur capacité équivalente $C_4^{'}$ s'écrit :

$$\begin{aligned}
\frac{1}{C_4^{'}} &= \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} \\
&= \frac{1}{2.2 \times 10^{-6}} + \frac{1}{4.7 \times 10^{-6}} \\
&= 10^{+6}\bigg(.45 + .21 \bigg)
\end{aligned}$$

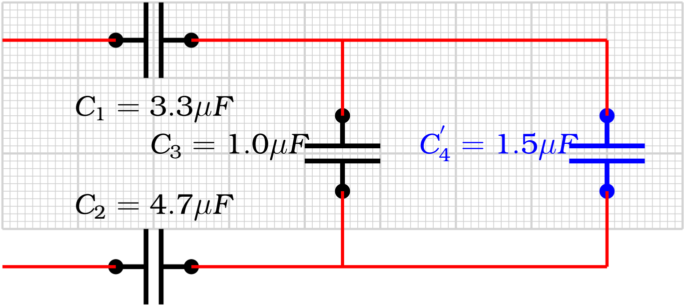
Considérons tout d'abord le couple de condensateurs C_4 et C_5. Ces deux condensateurs sont en série, leur capacité équivalente $C_4^{'}$ s'écrit :

$$\begin{aligned}
\frac{1}{C_4^{'}} &= \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} \\
&= \frac{1}{2.2 \times 10^{-6}} + \frac{1}{4.7 \times 10^{-6}} \\
&= 10^{+6}\left(.45 + .21\right) \\
&= 0.66 \times 10^{+6} F^{-1}
\end{aligned}$$

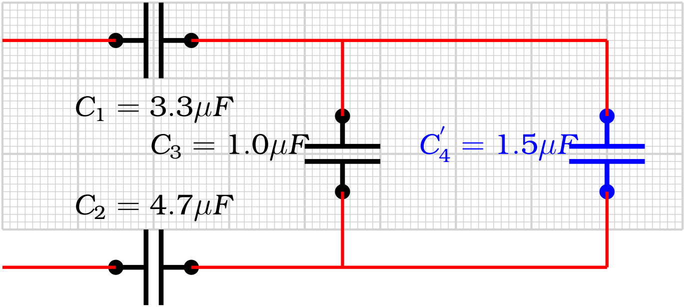
Considérons tout d'abord le couple de condensateurs C_4 et C_5. Ces deux condensateurs sont en série, leur capacité équivalente $C_4^{'}$ s'écrit :

$$\begin{aligned}
\frac{1}{C_4^{'}} &= \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} \\
&= \frac{1}{2.2 \times 10^{-6}} + \frac{1}{4.7 \times 10^{-6}} \\
&= 10^{+6}\left(.45 + .21\right) \\
&= 0.66 \times 10^{+6} F^{-1}
\end{aligned}$$

$$C_4^{'} = \frac{1}{0.66 \times 10^{+6}} = 1.5 \times 10^{-6} F$$

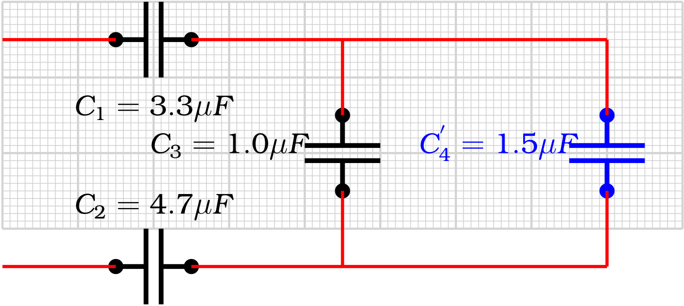


Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:



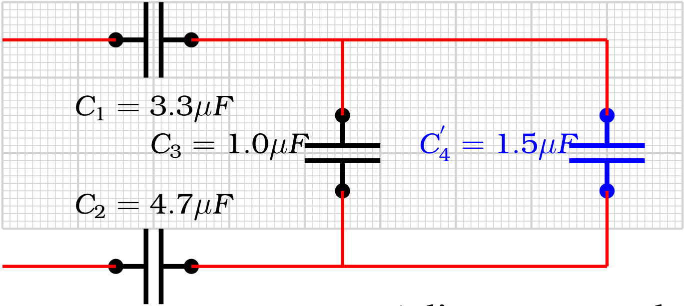
Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:

$$C_3^{'} = C_3 + C_4^{'}$$



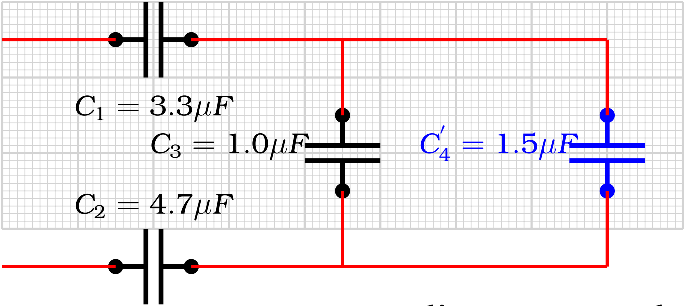
Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:

$$\begin{aligned} C_3^{'} &= C_3 + C_4^{'} \\ &= 1 \times 10^{-6} + 1.5 \times 10^{-6} \end{aligned}$$



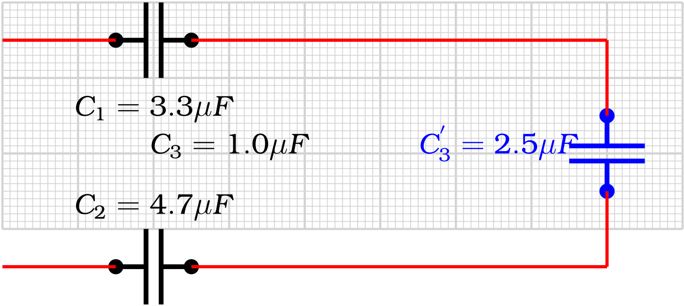
Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:

$$\begin{aligned} C_3^{'} &= C_3 + C_4^{'} \\ &= 1 \times 10^{-6} + 1.5 \times 10^{-6} \\ &= 2.5 \times 10^{-6} F \end{aligned}$$

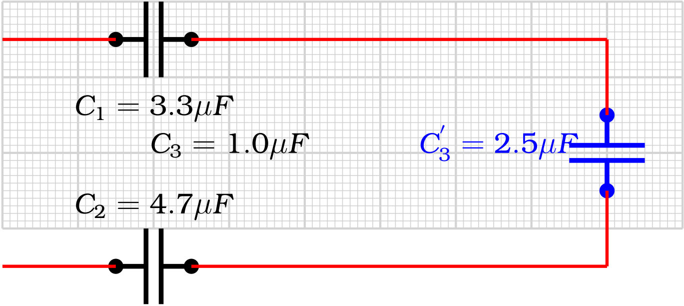


Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:

$$\begin{aligned} C_3^{'} &= C_3 + C_4^{'} \\ &= 1 \times 10^{-6} + 1.5 \times 10^{-6} \\ &= 2.5 \times 10^{-6} F \\ &= 2.5 \mu F \end{aligned}$$

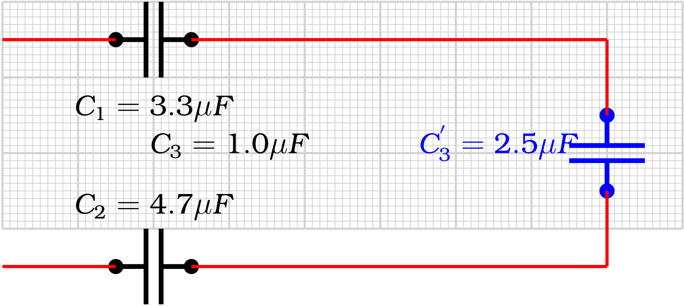


Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:



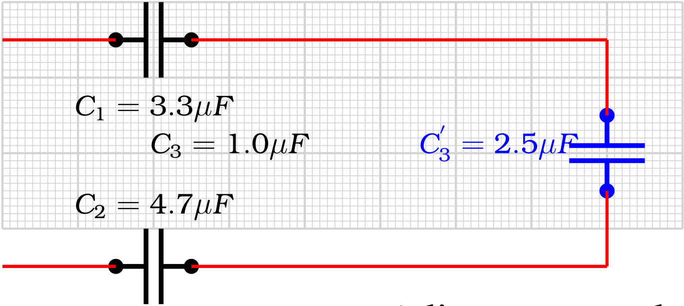
Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:

$$C_3^{'} = C_3 + C_4^{'}$$



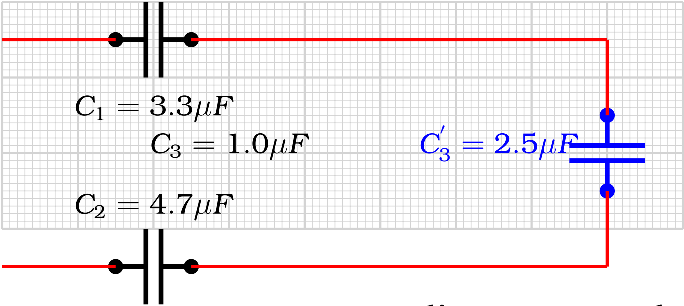
Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:

$$\begin{aligned} C_3^{'} &= C_3 + C_4^{'} \\ &= 1 \times 10^{-6} + 1.5 \times 10^{-6} \end{aligned}$$



Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et C_4' :

$$\begin{aligned} C_3' &= C_3 + C_4' \\ &= 1 \times 10^{-6} + 1.5 \times 10^{-6} \\ &= 2.5 \times 10^{-6} F \end{aligned}$$



Intéressons nous maintenant à l'association des deux condensateurs en parallèle C_3 et $C_4^{'}$:

$$\begin{aligned} C_3^{'} &= C_3 + C_4^{'} \\ &= 1 \times 10^{-6} + 1.5 \times 10^{-6} \\ &= 2.5 \times 10^{-6} F \\ &= 2.5 \mu F \end{aligned}$$

Il nous reste plus qu'à considérer les association des 3 condensateurs en série C_1, C_2, et C_3'. Soit C_{eq} le condensateur équivalent à ces condensateurs :

$$\begin{aligned}
\frac{1}{C_{eq}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3'} \\
&= \frac{1}{3.3 \times 10^{-6}} + \frac{1}{4.7 \times 10^{-6}} + \frac{1}{2.5 \times 10^{-6}} \\
&= 10^{+6}\left(\frac{1}{3.3} + \frac{1}{4.7} + \frac{1}{2.5}\right) \\
&= 10^{+6}\left(0.3 + 0.21 + 0.40\right) \\
&= 0.91 \times 10^{+6} F^{-1} \\
C_{eq} &= 1.1 \times 10^{-6} F
\end{aligned}$$