

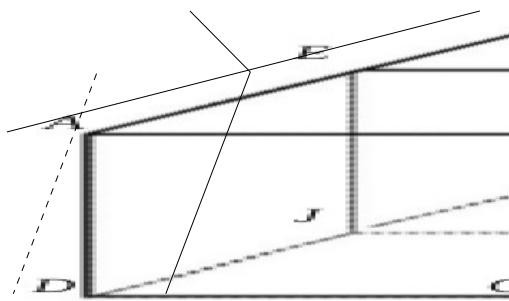
DROITES ET PLANS DE L'ESPACE

Avant tout, rappelons une propriété fondamentale :

Tout théorème de géométrie plane s'applique dans n'importe quel plan de l'espace.

Les exemples de ce chapitre se réfèrent à la figure ci-contre

*ABCDEFIJ est un cube
EGHKLMN est un parallélépipède rectangle tel que $HM = CI$ et $JH = 2JI$*



1) POSITIONS RELATIVES DE DROITES ET DE PLANS

A.) POSITIONS RELATIVES DE DEUX DROITES

d et d' sont non coplanaires	d et d' sont coplanaires
Aucun plan ne les contient toutes les deux.	Elles sont sécantes.
	Elles sont parallèles.
Leur intersection est vide.	Elles ont un seul point en commun.
	Elles sont strictement parallèles ou confondues.

Exemple :

- Les droites (AB) et (HN) sont non coplanaires.
- Les droites (AB) et (JH) sont strictement parallèles.
- Les droites (AL) et (KF) sont sécantes en F dans le plan (AKL)

B.) POSITIONS RELATIVES DE DEUX PLANS

P_1 et P_2 sont parallèles	P_1 et P_2 sont sécants
P_1 et P_2 confondus $P_1 = P_2$	P_1 et P_2 sont strictement parallèles
Il existe deux droites sécantes de P_1 et deux droites sécantes de P_2 parallèles deux à deux.	Leur intersection est une droite.

Propriété d'incidence :

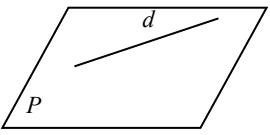
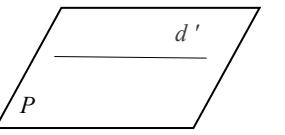
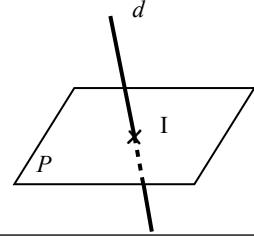
Si deux plans sont parallèles, alors tout plan qui coupe l'un coupe l'autre et les intersections sont des droites parallèles.



Exemple :

- Les plans (EKL) et (EGJ) sont sécants suivant la droite (EG)
- Les plans (EKL) et (JNM) sont strictement parallèles.
- Le plan $(CDEF)$ coupe les plans parallèles $(AEJD)$ et $(BFIC)$ suivant les droites parallèles (ED) et (FC) .

C) POSITIONS RELATIVES D'UNE DROITE ET D'UN PLAN

d et P sont parallèles		d et P sont sécants
		
d est contenue dans P	d est strictement parallèle à P	Leur intersection est un point unique.

Une droite d est parallèle à un plan P si, et seulement si, il existe une droite d' de P parallèle à d .

Exemple :

La droite (ED) est parallèle à la droite (FC) du plan $(BFIC)$. On en déduit que (ED) est parallèle au plan $(BFIC)$.

2) VECTEURS DE L'ESPACE

Comme dans le plan, à tout couple de points A et B de l'espace, on associe le vecteur \overrightarrow{AB} .

- Lorsque $A \neq B$, la **direction** de \overrightarrow{AB} est celle de la droite (AB) , le **sens** de \overrightarrow{AB} est le sens de A vers B et la **longueur ou norme** de \overrightarrow{AB} , notée $\|\overrightarrow{AB}\|$, est la distance AB .
Lorsque $A = B$, \overrightarrow{AA} est le vecteur nul, noté $\vec{0}$.
- On désigne souvent les vecteurs par une seule lettre, par exemple \vec{u} , \vec{v} , \vec{w} ...
- Pour tout point O de l'espace et pour tout vecteur \vec{u} , il existe un unique point M tel que $\overrightarrow{OM} = \vec{u}$.

A) VECTEURS ÉGAUX

Chacune des propriétés suivantes signifie que les vecteurs non nuls \overrightarrow{AB} et \overrightarrow{DC} sont égaux :

- \overrightarrow{AB} et \overrightarrow{DC} ont même direction, même sens et même norme.
- $ABCD$ est un parallélogramme, c'est à dire $[AC]$ et $[BD]$ ont même milieu.
(Si A , B , C et D sont alignés, on dit que $ABCD$ est un parallélogramme aplati)

B) RÈGLES DE CALCUL

Les règles de calcul sur les vecteurs de l'espace sont analogues aux règles de calcul sur les vecteurs du plan.

• RELATION DE CHASLES :

$$\text{Exemple : } \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} = \overrightarrow{AF}$$

$$\overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DI} = \overrightarrow{AI}$$

$$\overrightarrow{DE} + \overrightarrow{KL} = \overrightarrow{DL} + \overrightarrow{EG} = \overrightarrow{DG}$$

• RÈGLE DU PARALLELOGRAMME :

$$\text{Exemple : } \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{DJ} = \overrightarrow{DI}$$

$$\overrightarrow{JN} + \overrightarrow{JH} = \overrightarrow{JM}$$

$$\overrightarrow{DC} + \overrightarrow{DJ} + \overrightarrow{DA} = \overrightarrow{DI} + \overrightarrow{DA} = \overrightarrow{DF}$$

• OPPOSÉ D'UN VECTEUR :

$$\text{Exemple : } \overrightarrow{AB} = -\overrightarrow{FE}$$

• MULTIPLICATION D'UN VECTEUR PAR UN RÉEL :

Pour tous réels a et b , et pour tous vecteurs \vec{u} et \vec{v} on a :

$$a(\vec{u} + \vec{v}) = a\vec{u} + a\vec{v}, (a+b)\vec{u} = a\vec{u} + b\vec{u}, a(b\vec{u}) = (ab)\vec{u}, a\vec{u} = \vec{0} \Leftrightarrow a = 0 \text{ ou } \vec{u} = \vec{0} \text{ etc ...}$$

C) VECTEURS COLINÉAIRES

- Deux vecteurs non nuls \vec{u} et \vec{v} qui ont la même direction sont dits colinéaires.
Par convention le vecteur nul est colinéaire à tout autre vecteur.
- Dire que deux vecteurs non nuls \vec{u} et \vec{v} sont colinéaires revient à dire qu'il existe un réel k tel que $\vec{u} = k\vec{v}$
- Dire que les points A , B et C (distincts) sont alignés revient à dire qu'il existe $k \in \mathbb{R}$ tel que $\overrightarrow{AB} = k\overrightarrow{AC}$.

3) INTERPRÉTATION VECTORIELLE DES DROITES ET PLANS DE L'ESPACE

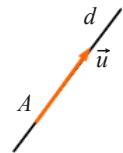
A) DROITES

Définition :

Soit d une droite. On appelle **vecteurs directeurs** de d les vecteurs, non nuls, définis par deux points de d .

Soit A un point de l'espace et \vec{u} un vecteur non nul.

$(A ; \vec{u})$ représente la droite qui passe par A et de direction, la direction de \vec{u} .



Remarques :

- La droite $(A ; \vec{u})$ est l'ensemble des points M de l'espace tels que \overrightarrow{AM} et \vec{u} sont colinéaires, c'est à dire tels qu'il existe un réel k vérifiant $\overrightarrow{AM} = k \vec{u}$.
- Dire que les droites (AB) et (CD) sont parallèles revient à dire que les vecteurs \overrightarrow{AB} et \overrightarrow{CD} sont colinéaires, c'est à dire qu'il existe $k \in \mathbb{R}^*$ tel que $\overrightarrow{AB} = k \overrightarrow{CD}$.

Conséquence :

- Deux droites sont parallèles si, et seulement si, leurs vecteurs directeurs sont colinéaires.

B) PLANS

PLAN DÉTERMINÉ PAR TROIS POINTS

Propriété :

Soit A , B et C trois points non alignés.

Le plan (ABC) est l'ensemble des points M de l'espace tels qu'il existe des réels x et y vérifiant $\overrightarrow{AM} = x \overrightarrow{AB} + y \overrightarrow{AC}$

Preuve : non exigible

On pose $\vec{u} = \overrightarrow{AB}$ et $\vec{v} = \overrightarrow{AC}$

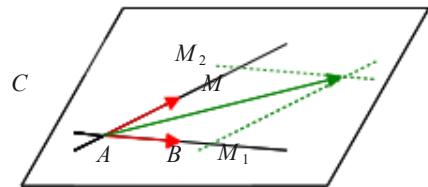
- Le repère $(A ; \vec{u}, \vec{v})$ est un repère de (ABC) . Ainsi, pour tout point M du plan, il existe un unique couple de réels $(x ; y)$ tels que $\overrightarrow{AM} = x \vec{u} + y \vec{v}$
- Réciproquement, soit M un point de l'espace tel qu'il existe deux réels x et y vérifiant $\overrightarrow{AM} = x \vec{u} + y \vec{v}$.

On note M_1 et M_2 les points définis par $\overrightarrow{AM_1} = x \vec{u}$ et $\overrightarrow{AM_2} = y \vec{v}$

L'égalité $\overrightarrow{AM_1} = x \vec{u}$ prouve que M_1 est sur (AB) , donc dans le plan (ABC) . De même M_2 est sur (AC) , donc dans le plan (ABC) .

D'autre part on a $\overrightarrow{AM} = \overrightarrow{AM_1} + \overrightarrow{AM_2}$, donc $AM_1 MM_2$ est un parallélogramme.

Les sommets A , M_1 et M_2 sont dans le plan (ABC) , il en est donc de même pour le quatrième sommet M .



On dit que les vecteurs \overrightarrow{AB} et \overrightarrow{AC} sont **des vecteurs directeurs** du plan (ABC) .

PLAN DÉFINI PAR UN POINT ET UN COUPLE DE VECTEURS NON COLINÉAIRES

Un point A et deux vecteurs \vec{u} et \vec{v} non colinéaires déterminent un unique plan : le plan (ABC) où $\overrightarrow{AB} = \vec{u}$ et $\overrightarrow{AC} = \vec{v}$.

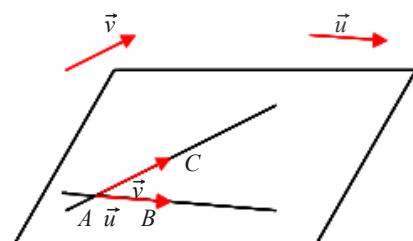
On note $(A ; \vec{u}, \vec{v})$ ce plan

$(A ; \vec{u}, \vec{v})$ est l'ensemble des points M de l'espace tels qu'il existe deux réels x et y vérifiant $\overrightarrow{AM} = x \vec{u} + y \vec{v}$.

On dit que les vecteurs \vec{u} et \vec{v} sont **des vecteurs directeurs** du plan $(A ; \vec{u}, \vec{v})$ ou encore que le plan $(A ; \vec{u}, \vec{v})$ est dirigé par \vec{u} et \vec{v} .

Remarque :

Si \vec{u}' est un vecteur non nul colinéaire à \vec{u} , et \vec{v}' un vecteur non nul colinéaire à \vec{v} , alors le plan $(A ; \vec{u}', \vec{v}')$ est le même que le plan $(A ; \vec{u}, \vec{v})$.



Exemple : Les plans $(A ; \overrightarrow{DN}, \overrightarrow{KL})$ et $(A ; \overrightarrow{AE}, \overrightarrow{AB})$ sont confondus.

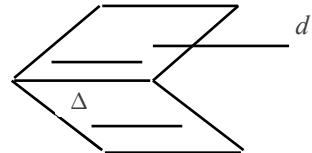
Consequences :

- Deux plans ayant même couple de vecteurs directeurs sont parallèles.
- Une droite d et un plan P sont parallèles si, et seulement si, un vecteur directeur de d est un vecteur du plan P .

C) THÉORÈME DU TOIT

Théorème :

Si P et P' sont deux plans sécants et parallèles à une droite d , alors l'intersection de P et P' est parallèle à d .



Preuve : exigible

Soit \vec{w} un vecteur directeur de d .

On note Δ l'intersection de P et P' .

Soit A un point de Δ . C'est aussi un point de P et de P' .

Le plan P est l'ensemble des points M de l'espace tels que $\overrightarrow{AM} = x \vec{u} + y \vec{w}$, où \vec{u} est un vecteur de P non colinéaire à \vec{w} .

Le plan P' est l'ensemble des points M de l'espace tels que $\overrightarrow{AM} = x' \vec{v} + y' \vec{w}$, où \vec{v} est un vecteur de P' non colinéaire à \vec{w} .

Soit M un point de Δ .

$M \in P$, il existe donc deux réels x et y tels que $\overrightarrow{AM} = x \vec{u} + y \vec{w}$.

$M \in P'$, il existe donc deux réels x' et y' tels que $\overrightarrow{AM} = x' \vec{v} + y' \vec{w}$.

On obtient alors : $\overrightarrow{AM} = x \vec{u} + y \vec{w} = x' \vec{v} + y' \vec{w}$.

Supposons que $x \neq 0$.

On a alors : $\vec{u} = \frac{x'}{x} \vec{v} + \frac{y' - y}{x} \vec{w}$

On en déduit que \vec{u} est un vecteur du plan P' .

P' possède alors deux vecteurs non colinéaires \vec{u} et \vec{w} du plan P . Ce qui signifie que P et P' sont parallèles.

Ce qui est absurde ... (P et P' sont sécants par hypothèse)

Ainsi $x=0$ et $\overrightarrow{AM} = y \vec{w}$, ce qui prouve que la droite Δ est dirigée par le vecteur \vec{w} et donc que Δ est parallèle à d .

4) DÉCOMPOSITION DE VECTEURS

A) VECTEURS COPLANAIRE

Définition :

Les vecteurs $\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}, \dots$, de l'espace sont dits coplanaires lorsqu'un point O quelconque et les points A, B, C, \dots , définis par $\overrightarrow{OA} = \vec{u}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{v}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{w}, \dots$, sont coplanaires.

Cette définition ne dépend pas du point O choisi.

Remarques :

- Deux vecteurs sont toujours coplanaires.
- Si deux vecteurs \vec{u} et \vec{v} sont colinéaires, alors quel que soit le vecteur \vec{w} , les vecteurs \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} sont coplanaires.

Exemple : Montrer que les vecteurs $\overrightarrow{HM}, \overrightarrow{AL}$ et \overrightarrow{DC} sont coplanaires.

On a $\overrightarrow{HM} = \overrightarrow{AE}$ et $\overrightarrow{DC} = \overrightarrow{AB}$

Les points A, E, B et L étant coplanaires, on en déduit que les vecteurs $\overrightarrow{HM}, \overrightarrow{AL}$ et \overrightarrow{DC} sont coplanaires.

Propriété :

\vec{u}, \vec{v} et \vec{w} sont trois vecteurs de l'espace tels que \vec{u} et \vec{v} ne sont pas colinéaires.

Dire que \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} sont coplanaires revient à dire qu'il existe des réels a et b tels que $\vec{w} = a \vec{u} + b \vec{v}$.

Preuve : non exigible

Soit O un point de l'espace. On considère les points A, B et C tels que $\overrightarrow{OA} = \vec{u}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{v}$ et $\overrightarrow{OC} = \vec{w}$.

\vec{u} et \vec{v} ne sont pas colinéaires, les points O, A et B ne sont pas alignés et déterminent donc un plan, le plan (OAB) .

Par définition, dire que \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} sont coplanaires revient à dire $C \in (OAB) \dots$ ce qui revient à dire qu'il existe des réels a et b tels que $\overrightarrow{OC} = a \overrightarrow{OA} + b \overrightarrow{OB}$.

Remarque :

Si trois vecteurs sont non coplanaires, alors aucun des trois ne peut se décomposer en fonction des deux autres.

B) VECTEURS NON COPLANAIRE

Propriété :

Soit \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} trois vecteurs non coplanaires de l'espace.

Pour tout vecteur \vec{t} de l'espace, il existe un unique triplet $(x; y; z)$ de réels tels que : $\vec{t} = x \vec{u} + y \vec{v} + z \vec{w}$

Preuve : non exigible

Existence :

Soit A, B, C, D et M des points tels que $\vec{u} = \overrightarrow{AB}$, $\vec{v} = \overrightarrow{AC}$, $\vec{w} = \overrightarrow{AD}$ et $\vec{t} = \overrightarrow{AM}$.

\vec{u} et \vec{v} sont non colinéaires, sinon \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} seraient coplanaires.

Ainsi A, B et C définissent un plan dont (A, \vec{u}, \vec{v}) est un repère.

La parallèle à la droite (AD) passant par M , dirigée par \vec{w} , qui n'est pas un vecteur du plan (ABC) , puisque \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} sont non coplanaires, est sécante à ce plan en un point H .

\overrightarrow{HM} et \vec{w} sont colinéaires, donc $\overrightarrow{HM} = z \vec{w}$, où z est un réel, et H appartient au plan (ABC) , donc $\overrightarrow{AH} = x \vec{u} + y \vec{v}$ (x et y réels)

Comme $\vec{t} = \overrightarrow{AM} = \overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HM}$, on obtient l'existence d'un triplet $(x; y; z)$ de réels tels que $\vec{t} = x \vec{u} + y \vec{v} + z \vec{w}$

Unicité :

On suppose que l'on a deux écritures : $\vec{t} = x \vec{u} + y \vec{v} + z \vec{w} = x' \vec{u} + y' \vec{v} + z' \vec{w}$

On a alors $(x - x') \vec{u} + (y - y') \vec{v} + (z - z') \vec{w} = \vec{0}$.

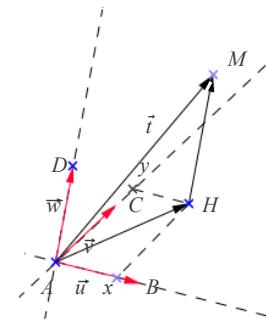
Supposons que l'une des trois différences n'est pas nulle, par exemple $(z - z') \neq 0$.

On obtient :

$$\vec{w} = \frac{x - x'}{z - z'} \vec{u} + \frac{y - y'}{z - z'} \vec{v}$$

Les vecteurs \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} seraient alors coplanaires ... ce qui n'est pas possible.

On déduit que $z = z'$ et de la même façon que $x = x'$ et $y = y'$.



Remarque :

On dit que l'on a décomposé le vecteur \vec{t} en fonction des vecteurs \vec{u}, \vec{v} et \vec{w} .

5) REPÈRES DE L'ESPACE

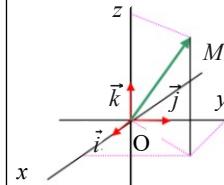
Propriété et définitions :

Soit O un point et \vec{i}, \vec{j} et \vec{k} trois vecteurs non coplanaires de l'espace.

A tout point M de l'espace, on peut associer un unique triplet de réels $(x; y; z)$ tel que :

$$\overrightarrow{OM} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$$

On dit que $(x; y; z)$ sont les coordonnées du point M dans le repère $(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ ou que x, y et z sont respectivement l'abscisse, l'ordonnée et la cote du point M .



Exemple :

Dans le repère $(J; \overrightarrow{JD}, \overrightarrow{JI}, \overrightarrow{JE})$, on a $D(1; 0; 0)$, $K(-1; 0; 1)$ et $L(-1; 2; 1)$

Les propriétés et les règles de calcul vues dans le plan pour les coordonnées de vecteurs et de points se prolongent dans l'espace en ajoutant simplement une troisième coordonnée.

Propriété :

Dans un repère donné de l'espace, soit $\vec{u} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$ et $\vec{u}' \begin{pmatrix} a' \\ b' \\ c' \end{pmatrix}$ deux vecteurs, $A(x; y; z)$ et $B(x'; y'; z')$ deux points.

- Pour tout réel k , le vecteur $k \vec{u}$ a pour coordonnées $\begin{pmatrix} ka \\ kb \\ kc \end{pmatrix}$
- Le vecteur \overrightarrow{AB} a pour coordonnées $\begin{pmatrix} x' - x \\ y' - y \\ z' - z \end{pmatrix}$
- Le vecteur $\vec{u} + \vec{v}$ a pour coordonnées $\begin{pmatrix} a + a' \\ b + b' \\ c + c' \end{pmatrix}$
- Le milieu I de $[AB]$ a pour coordonnées $\left(\frac{x+x'}{2}; \frac{y+y'}{2}; \frac{z+z'}{2} \right)$
- $\vec{u} = \vec{v} \Leftrightarrow \begin{cases} a = a' \\ b = b' \\ c = c' \end{cases}$

6) REPRÉSENTATION PARAMÉTRIQUE D'UNE DROITE DE L'ESPACE

Dans la suite du cours, l'espace est muni d'un repère $(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

Propriété :

Soit d la droite de l'espace passant par le point A de coordonnées $(x_A; y_A; z_A)$ et de vecteur directeur \vec{u} de coordonnées $\begin{pmatrix} \lambda \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$.

Un point M de coordonnées $(x; y; z)$ appartient à d si, et seulement si il existe un réel k tel que :

$$\begin{cases} x = x_A + k \lambda \\ y = y_A + k \beta \\ z = z_A + k \gamma \end{cases}$$

Preuve : immédiat

$M(x; y; z)$ appartient à d si, et seulement si, les vecteurs \overrightarrow{AM} et \vec{u} sont colinéaires.

Or \overrightarrow{AM} et \vec{u} sont colinéaires si, et seulement si, il existe un réel k tel que $\overrightarrow{AM} = k \vec{u}$

En traduisant cette dernière égalité à l'aide des coordonnées, on obtient le résultat cherché.

Remarque :

A chaque réel k correspond un unique point M de la droite.

Réciproquement, à chaque point M de la droite correspond un unique réel k tel que $\overrightarrow{AM} = k \vec{u}$.

Définition :

Soit d la droite de l'espace passant par le point A de coordonnées $(x_A; y_A; z_A)$ et de vecteur directeur \vec{u} de coordonnées $\begin{pmatrix} \lambda \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$.

$$\begin{cases} x = x_A + k \lambda \\ y = y_A + k \beta \\ z = z_A + k \gamma \end{cases} \quad (k \in \mathbb{R}) \text{ est une représentation paramétrique de la droite } d.$$

Le paramètre k peut être remplacé par n'importe quelle autre lettre distincte de x , y et z .
On utilise souvent la lettre t .

Remarques :

- Si λ , β et γ sont trois réels non nuls simultanément, le système $\begin{cases} x = a + k \lambda \\ y = b + k \beta \\ z = c + k \gamma \end{cases}$ est une représentation paramétrique de la droite passant par

le point de coordonnées $(a; b; c)$ et de vecteur directeur $\begin{pmatrix} \lambda \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$.

- Il n'y a pas unicité de la représentation paramétrique d'une droite de l'espace.

- Représentations paramétriques d'un segment et d'une demi-droite :

Soit A et B deux points distincts de l'espace.

En considérant le vecteur directeur \overrightarrow{AB} , l'appartenance d'un point M au segment $[AB]$ ou bien à la demi-droite $[AB)$ s'obtient en adaptant l'énoncé de la conclusion ci-dessus :

- pour le segment, il suffit de remplacer dans le système : « $k \in \mathbb{R}$ » par « $k \in [0; 1]$ ».

- pour la demi-droite $[AB)$, il suffit de remplacer dans le système : « $k \in \mathbb{R}$ » par « $k \in [0; +\infty[$ ».