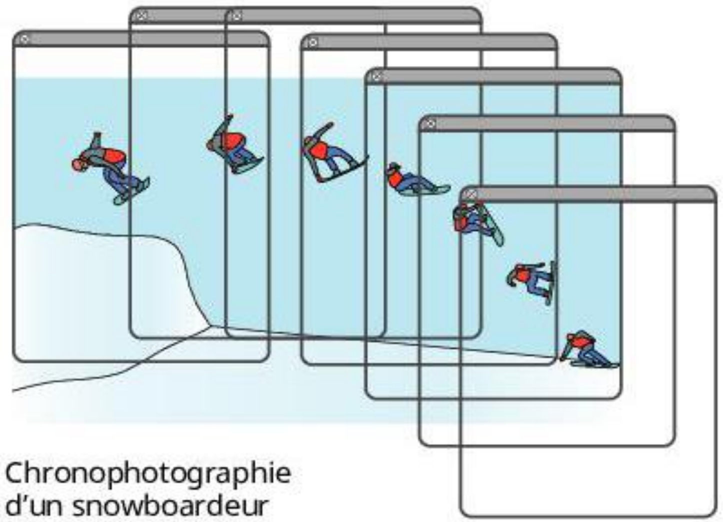
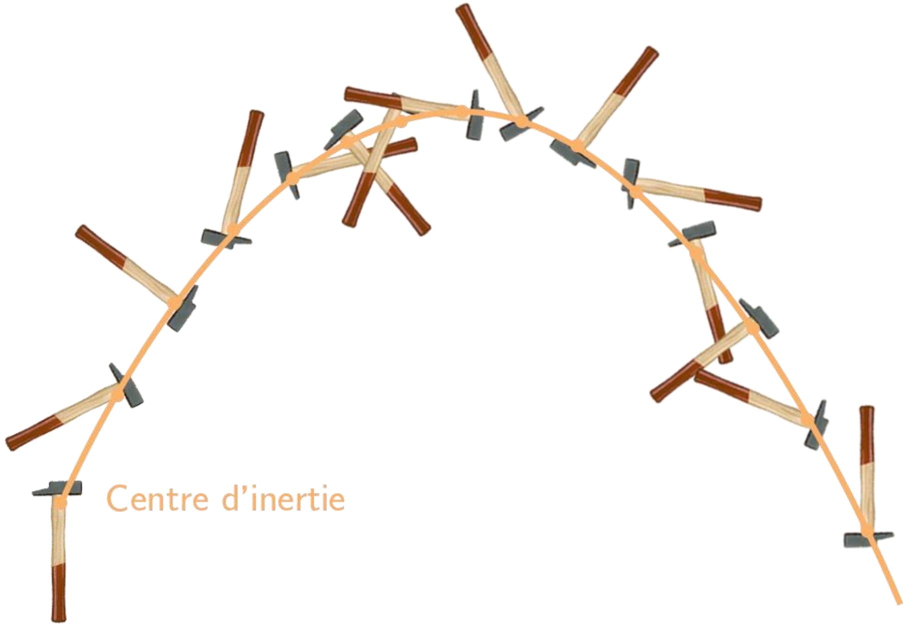
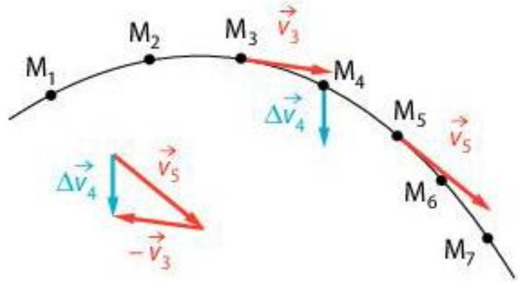
Chapitre 8 – Lois de Newton

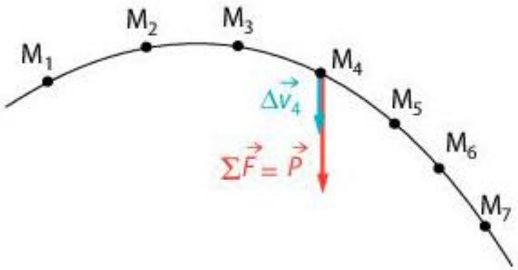


Chronophotographie d'un snowboardeur

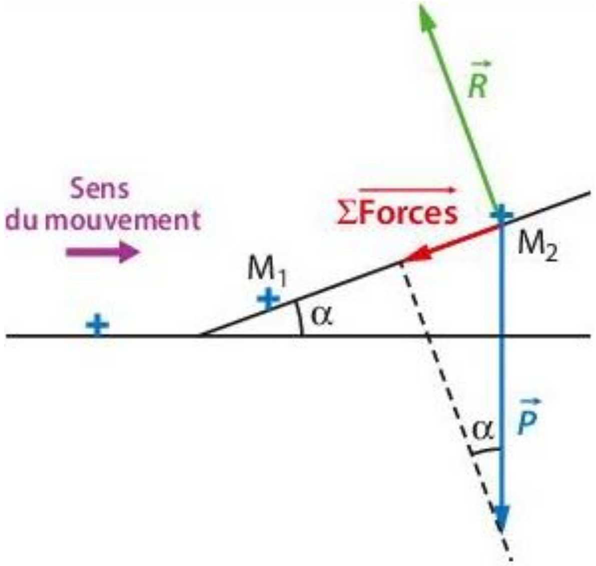


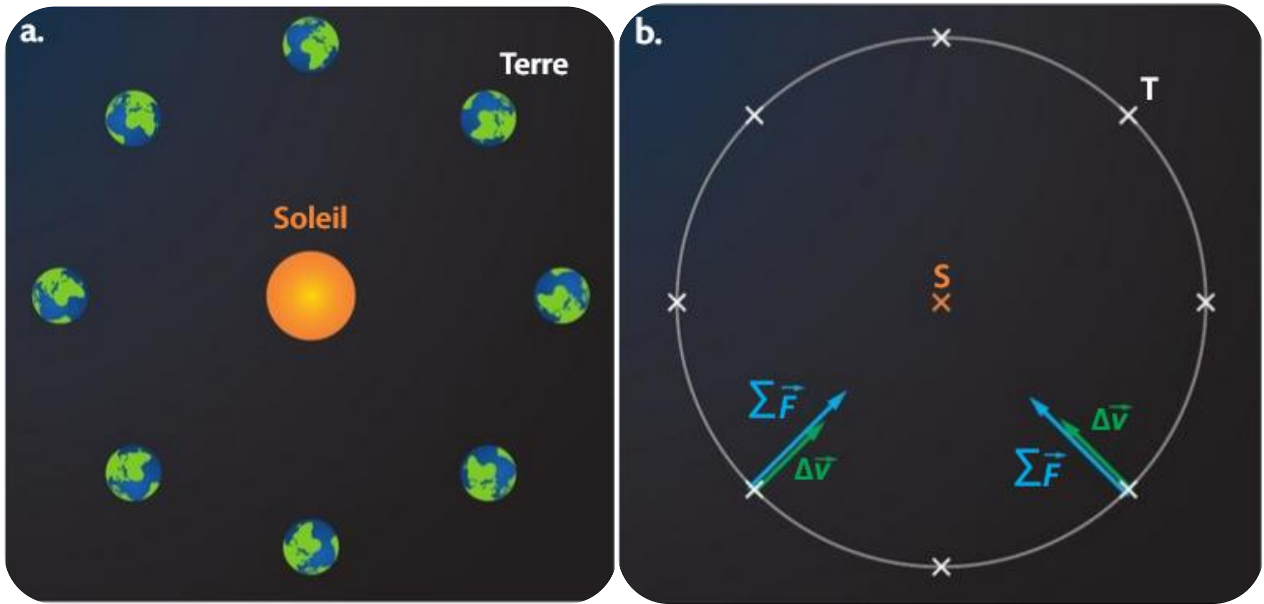


Variation du vecteur vitesse au point M_3



Force modélisant l'action qui s'exerce sur le snowboardeur





Chapitre 8– Lois de Newton

I – Rappels

II – Effet d'une force sur le mouvement

1 – Résultante
2 – Effet sur un mouvement
3 – Référentiel galiléen

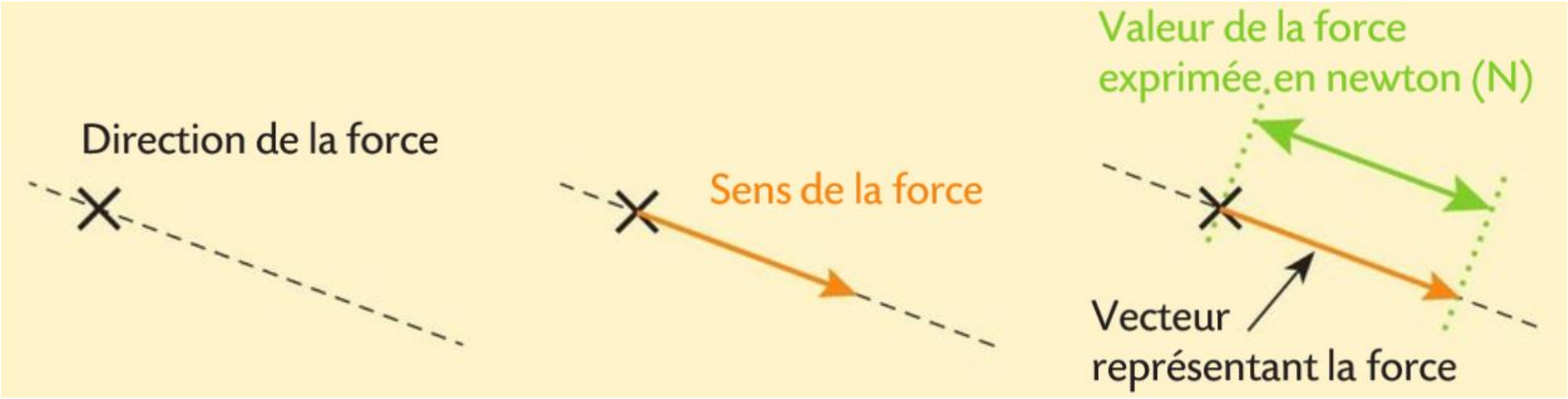
II – 2ème loi de Newton

1 – Variation de la vitesse et résultante des forces
2 – Rôle de la masse
3 – Relation de la 2ème loi de Newton
4 – Cas d'une chute libre

I – Rappel et forces « usuelles »

Une action mécanique est modélisée par une **force**, représentée par un vecteur, dont les caractéristiques sont :

- Le **point d'application** : c'est le point du système où s'exerce la force,
- La **direction** : c'est la droite selon laquelle s'exerce la force,
- Le **sens** (indiqué par la flèche du vecteur) : c'est le sens de l'action.
- La **longueur** du vecteur : elle est proportionnelle, compte tenue de l'échelle choisie. La valeur d'une force s'exprime en newton (N).



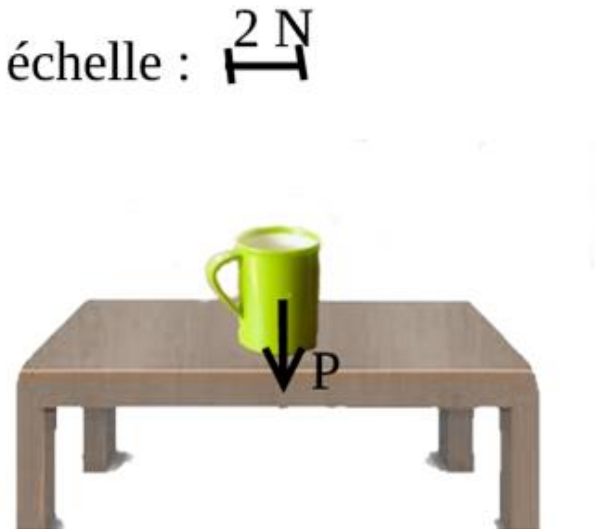
Il existe une **infinité** de forces servant à modéliser **une infinité d'actions mécaniques** possibles selon le contexte.

Dans les différentes situations que l'on étudiera, certaines forces sont récurrentes !

LE POIDS $\vec{P}$

C'est la force gravitationnelle exercée par la Terre sur tout système situé à sa proximité. Il est représenté par un vecteur, dont les caractéristiques sont :

- Le **point d'application** : le centre de masse du système,
- La **direction** : la droite reliant le système au centre de la Terre, généralement verticale
- Le **sens** (indiqué par la flèche du vecteur) : vers le centre de la Terre, généralement vers le bas.
- La **longueur** du vecteur : $\|\overrightarrow{P}\| = P = m \times g$

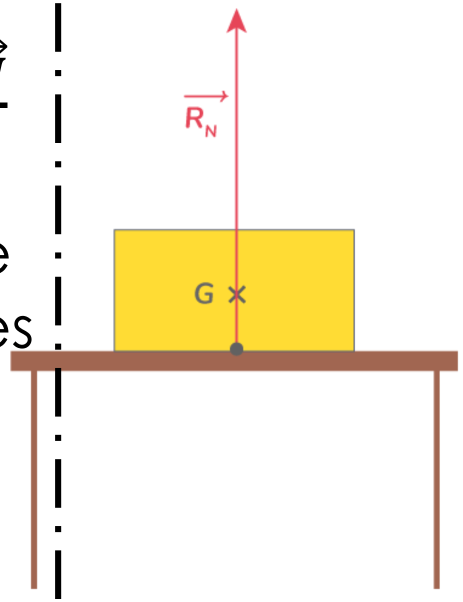


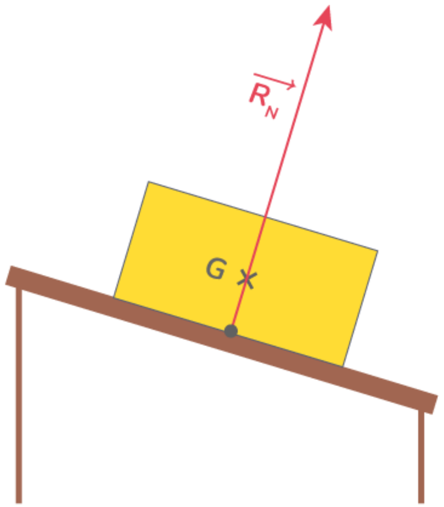
La réaction normale du support $\vec{R}$ ou $\vec{N}$

C'est la force exercée sur tout objet posé sur un support par ce support. Elle est représentée par un vecteur, dont les caractéristiques sont :

- Le **point d'application** : le centre de la surface de contact,
- La **direction** : perpendiculaire à la surface
- Le **sens** (indiqué par la flèche du vecteur) : vers l'extérieur du support
- La **longueur** du vecteur : $\|\overrightarrow{R}\| = R$

Sa composante verticale compense le poids

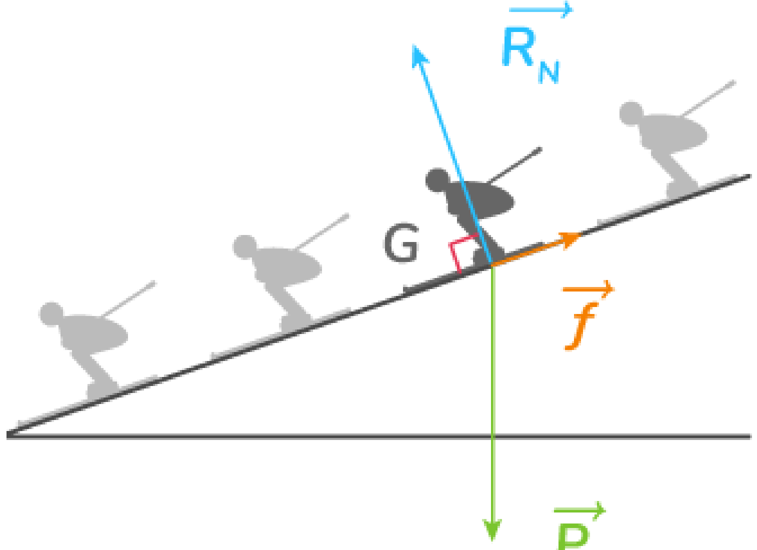


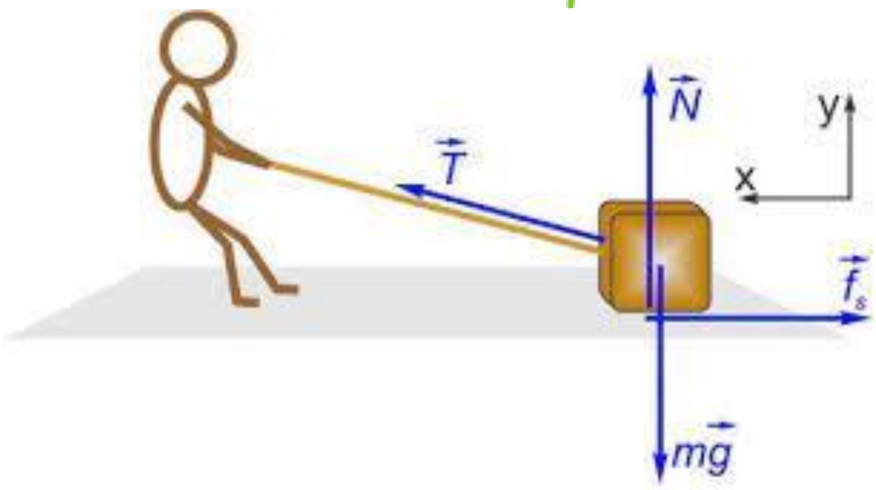


Les frottements $\vec{f}$

C'est la force exercée par le milieu sur tout système en mouvement. Elle est représentée par un vecteur, dont les caractéristiques sont :

- Le **point d'application** : le centre de la surface de contact,
- La **direction** : colinéaire au vecteur vitesse
- Le **sens** (indiqué par la flèche du vecteur) : opposé au mouvement
- La **longueur** du vecteur : $\overrightarrow{\|f\|} = f$
Généralement proportionnelle à la norme de la vitesse

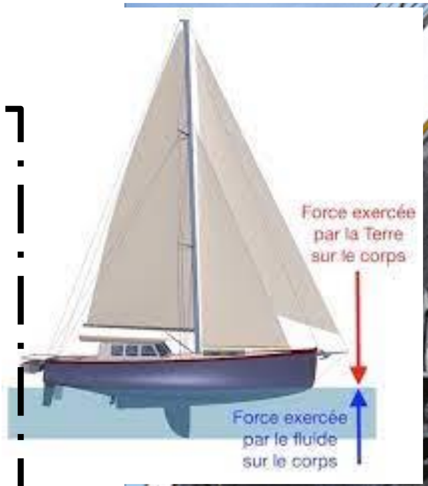


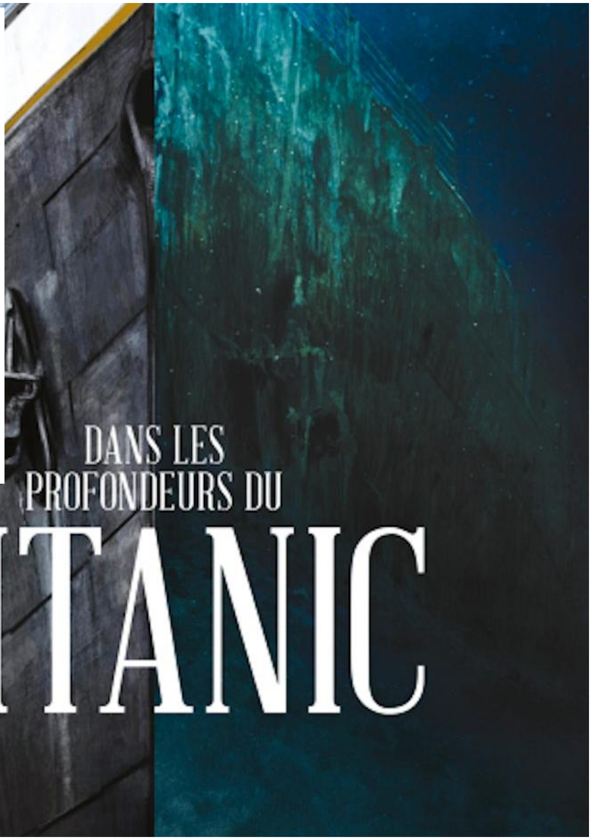


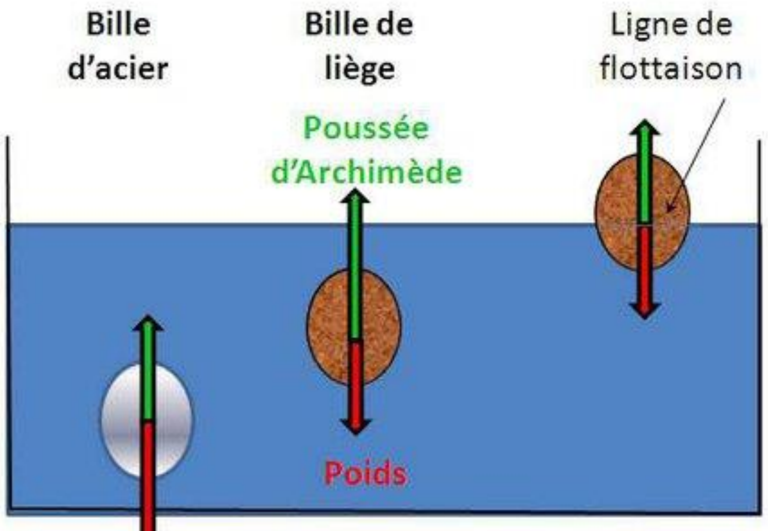
La poussée d’Archimède $\vec{\Pi}$

C’est la force que subit tout système dans un **fluide** et soumis à un champ de pesanteur. Elle est représentée par un vecteur, dont les caractéristiques sont :

- Le **point d’application** : le centre de masse du système ,
- La **direction** : la même que le champ pesanteur
- Le **sens** (indiqué par la flèche du vecteur) : opposé au champ
- La **longueur** du vecteur :
  $\|\overrightarrow{\Pi}\| = \Pi = \rho \times V \times g$
  ρ est la masse volumique du fluide
  *V est le volume de système **dans le fluide.***



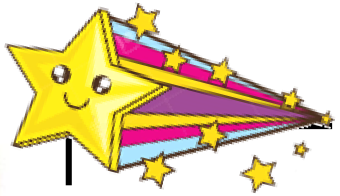




II – Effet d'une force sur le mouvement

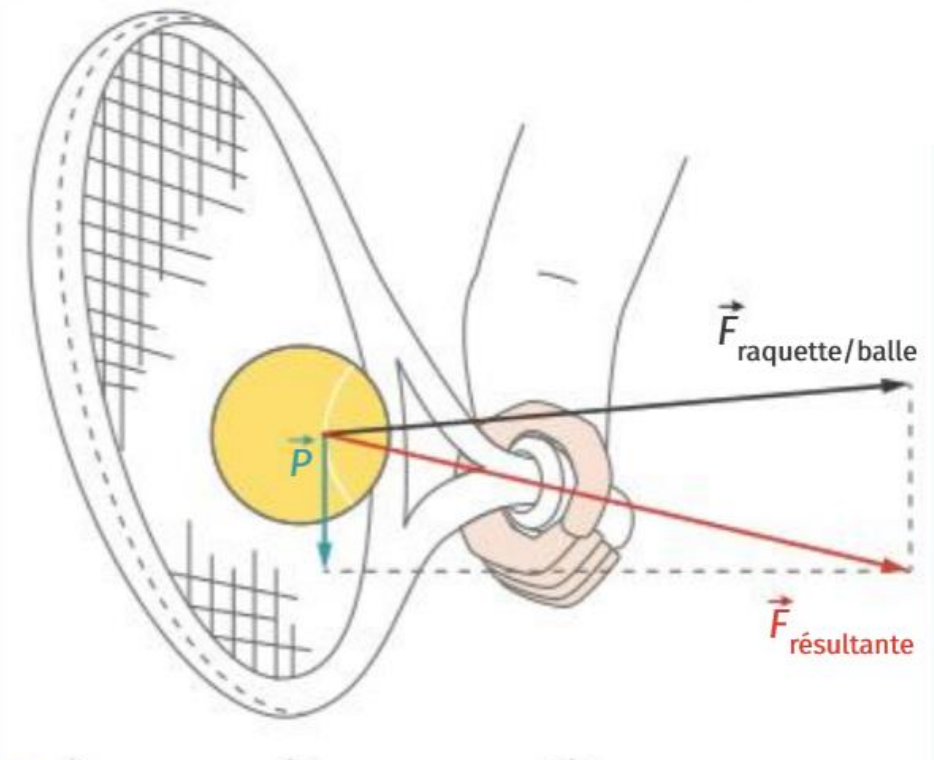
1- Résultante

Lorsque plusieurs forces s'exercent sur un système, on définit le vecteur résultante des forces $\overrightarrow{F_{résultante}}$.



Le vecteur résultante des forces $\overrightarrow{\mathbf{F_{résultante}}}$ est égal à la somme des forces extérieures qui s'appliquent sur le système.

On peut donc aussi l'écrire plus simplement $\sum \vec{F}$.



$\vec{F}_{résultante} = \vec{F}_{raquette/balle} + \vec{P}$

2 – Effet d'une force sur un mouvement

<u>1ère loi de Newton</u> : Principe d'inertie

En l'absence de force, ou si les forces se compensent, le système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme.

$$\textbf{Si } \sum \vec{F} = \vec{0}\textbf{, alors } \Delta \vec{v} = \vec{0}$$

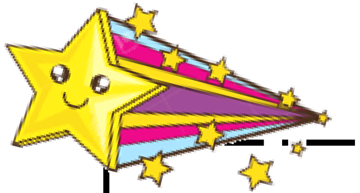
Au contraire, l'action d'une force permet de sortir un objet de son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme. Ainsi, une force a pour effet de modifier la trajectoire et/ou la valeur de la vitesse d'un objet.

Un ensemble de forces dont la résultante est non nulle est responsable de la variation du vecteur vitesse du système.

$$\textbf{Si } \sum \vec{F} \neq \vec{0}\textbf{, alors } \Delta \vec{v} \neq \vec{0}$$

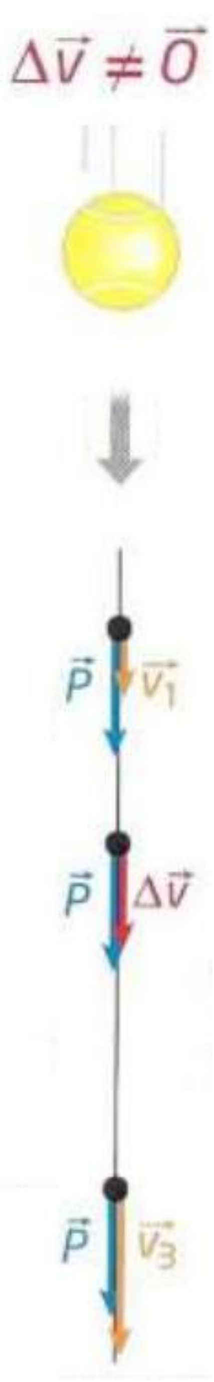
3 – Référentiel galiléen

Les lois de Newton s’appliquent dans les référentiels dits galiléens uniquement.



Un référentiel est dit galiléen si le principe d’inertie est vérifié dans celui-ci.

Le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour des études de mouvement de durée faible par rapport à la durée de rotation complète de la Terre.



III – 2ème Loi de Newton

1 – Variation de la vitesse et résultante des forces

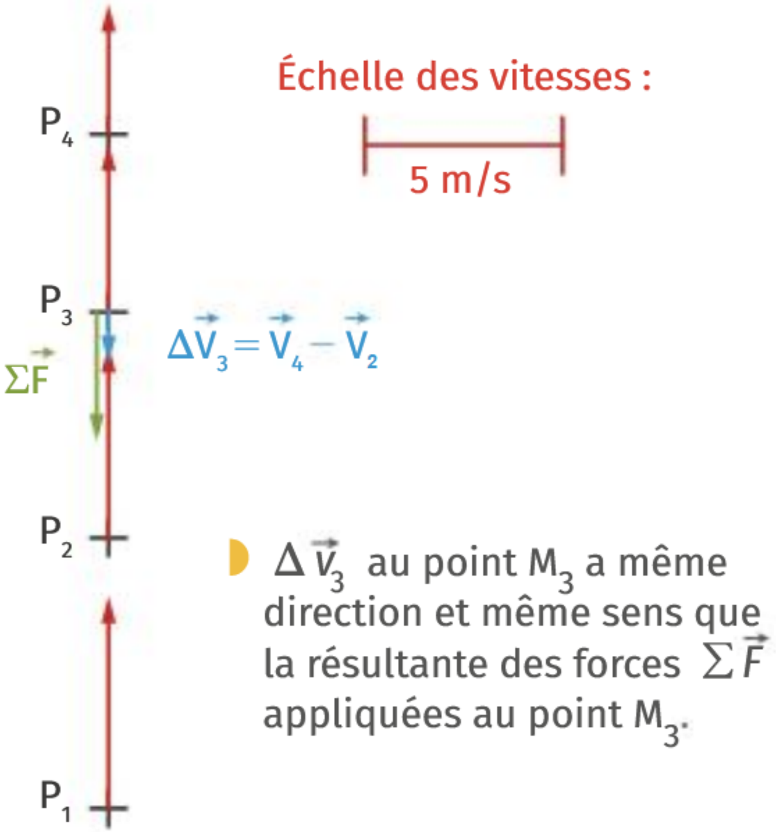
Soit un point matériel m animé d'une vitesse $\vec{v}$, soumis à un ensemble de forces dont la somme vaut $\sum \vec{F}$ à un instant t.

Les forces appliquées au point matériel induisent un changement de vitesse.

La variation instantanée d'un système par rapport au temps est proportionnelle à la résultante des forces qui s'appliquent sur lui :

$$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = k.\sum \vec{F}.$$

Sur le schéma ci-contre on peut voir que la somme des forces et la variation du vecteur vitesse sont colinéaires et de même sens.

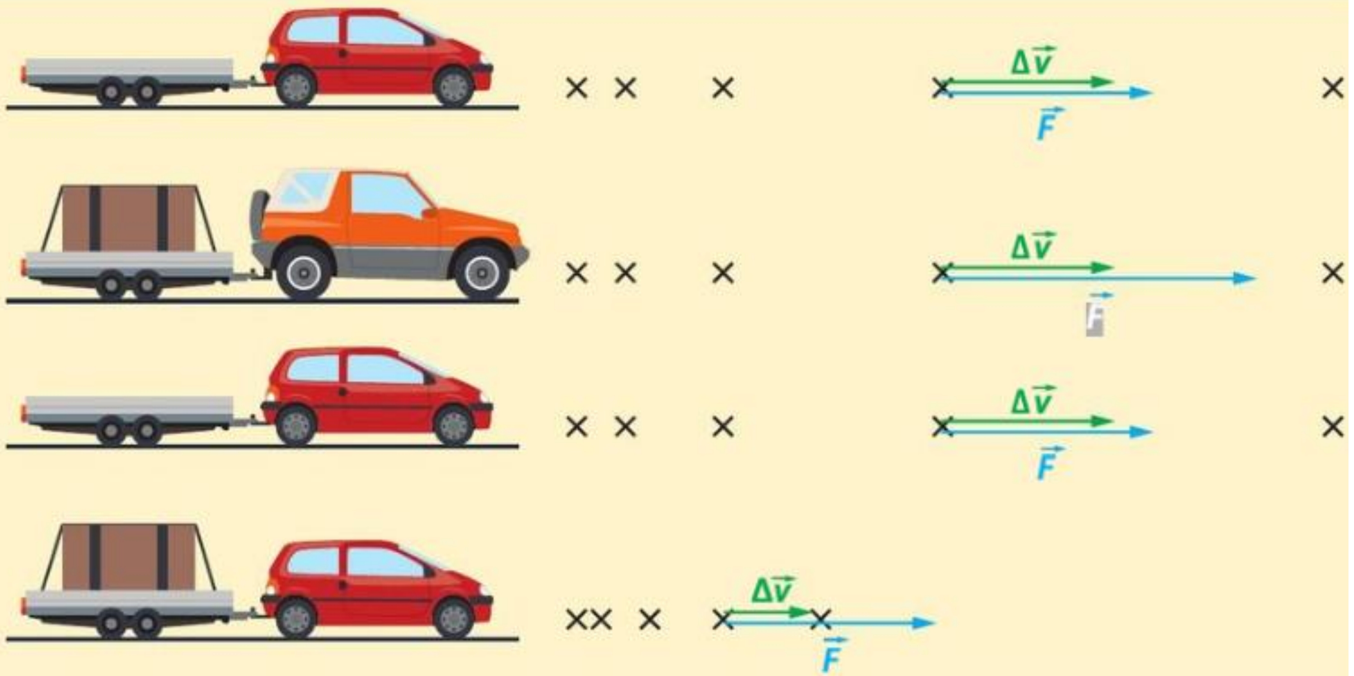


2 – Rôle de la masse

On définit l'inertie comme la tendance d'un corps à conserver sa vitesse. Plus la masse d'un objet est importante, plus son inertie est grande. La force qu'il faut fournir à un objet pour le porter d'une vitesse v_1 à une vitesse v_2 est, en un intervalle de temps Δt donné, proportionnelle à la masse de l'objet.

Cette force résultante $\sum \vec{F}$ qui est proportionnelle à $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ est aussi proportionnelle à la masse m de l'objet.

- Afin d'obtenir la **même variation de vitesse** $\Delta\vec{v}$ pour deux systèmes de masses différentes, il faut exercer sur le système de plus grande masse une somme des forces $\Sigma\vec{F}$ de plus **grande** valeur.
- Si on exerce la **même somme des forces** $\Sigma\vec{F}$ sur deux systèmes de masses différentes, plus la masse du système est grande, plus la valeur de son vecteur variation de vitesse est **petite**.



3 – Relation de la 2ème loi de Newton

Connaissant la masse et le vecteur variation de vitesse d'un système à un instant donné, cette relation permet de déduire la direction, le sens et l'intensité de la résultante des forces qui s'appliquent à cet instant, et réciproquement.

Cette relation réunit les considérations précédentes (parties **1** et **2**) :

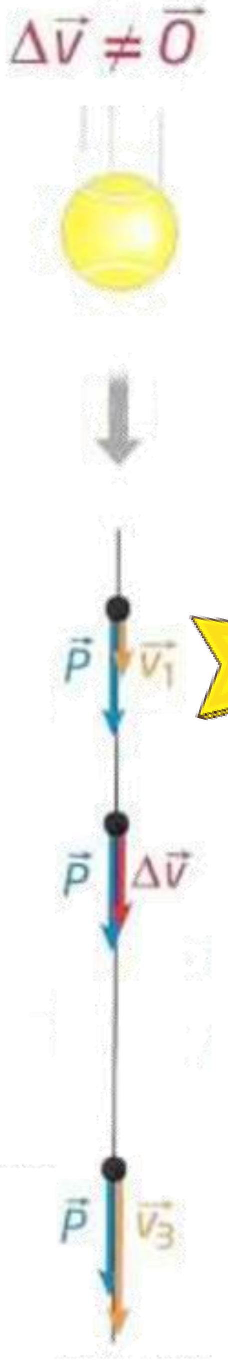
$$\mathbf{m.\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \sum \vec{F}}$$

$\sum \vec{F}$: somme des forces (N)

$\Delta\vec{v}$: vecteur variation de vitesse ($m.s^{-1}$)

Δt: écart de temps (s)

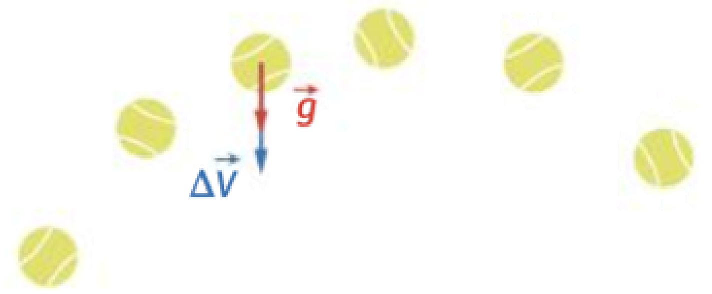
m : masse (kg)



4 – Cas d'une chute libre

On dit qu'un objet est en chute libre s'il est soumis uniquement à son poids $\vec{P}$.

Comme $\vec{P} = m.\vec{g}$, alors la relation approchée de la deuxième loi de Newton s'écrit : $\boldsymbol{m.\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m.\vec{g}}$ soit $\boldsymbol{\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}}$



Ainsi, dans le cas d'une chute libre, la variation du vecteur vitesse par rapport au temps $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ est égale au champ de pesanteur $\vec{g}$.

Le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ d'un système en chute libre est vertical, dirigé vers le bas et sa valeur ne dépend pas de sa masse.

Exemple : Influence de la masse

Un système assimilé à un point M de masse m glisse sur le sol. Il est soumis aux forces représentées ci-dessous à la même échelle.

La force $\vec{f}$ est une force de traction constante.

1. Schématiser la somme des forces $\sum \vec{F}$.

2. En déduire la direction et le sens du vecteur vitesse $\Delta \vec{v}$

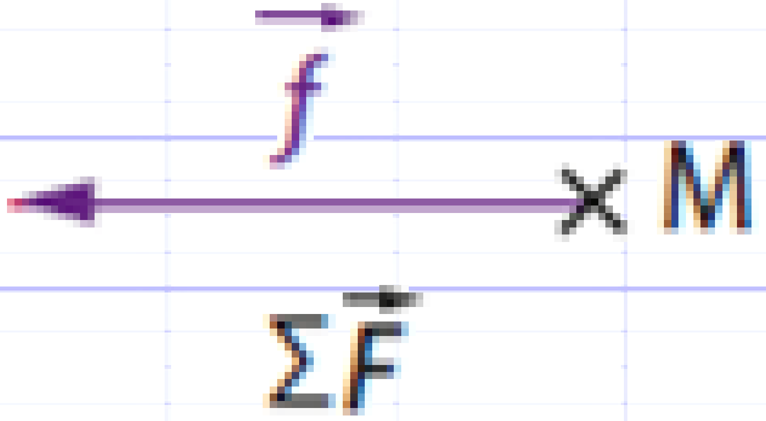
3. Que deviendrait ce vecteur vitesse si la masse du système était 2 fois plus grande ?

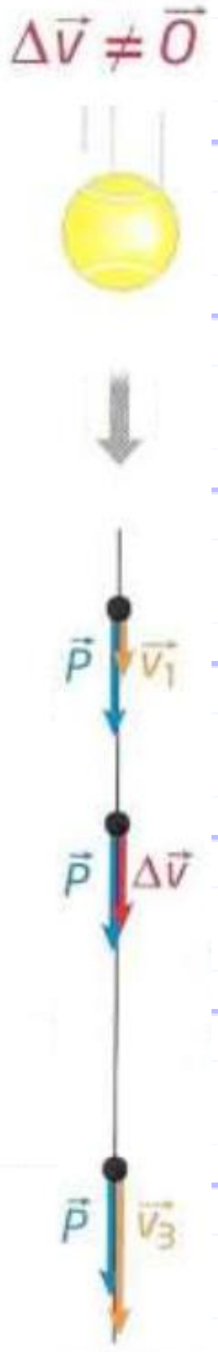
Question 1 : La résultante des forces.

La somme des forces : $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{f}$

Les forces $\vec{P}$ et $\vec{R}$ se compensent : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$

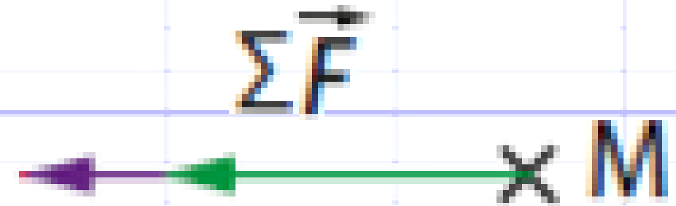
La résultante des forces $\sum \vec{F}$ est donc égale à $\vec{f}$.





Question 2 : Variation du vecteur vitesse

Le vecteur variation de vitesse $\overrightarrow{\Delta v}$ a même direction et même sens que la résultante des forces d'après la deuxième loi de Newton.



Question 3 : Influence de la masse

Si la masse du système est deux fois plus grande, le vecteur variation vitesse $\overrightarrow{\Delta v}$ aura une valeur deux fois plus faible pour une même durée.

I – Rappel sur les vecteurs

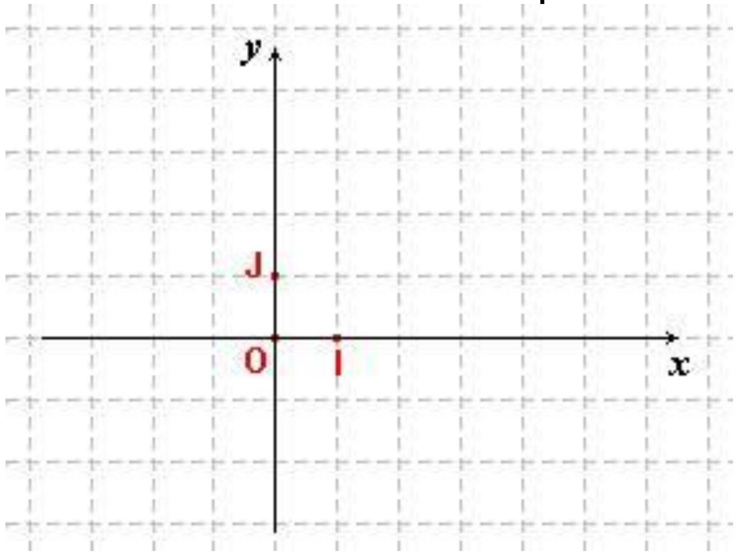
Un vecteur est défini par ses caractéristiques c'est-à-dire :

- Le **point d'application** : c'est le point du système où s'exerce la force,
- La **direction** : c'est la droite selon laquelle s'exerce la force,
- Le **sens** (indiqué par la flèche du vecteur) : c'est le sens de l'action.
- La **longueur** du vecteur : elle est proportionnelle, compte tenue de l'échelle choisie. La valeur d'une force s'exprime en newton (N).

1 – Repère orthonormé $(O; \vec{i}; \vec{j})$

- Le vecteur unitaire correspondant à l'axe horizontal est généralement noté $\vec{i}$

- Le vecteur unitaire correspondant à l'axe vertical est généralement noté $\vec{j}$



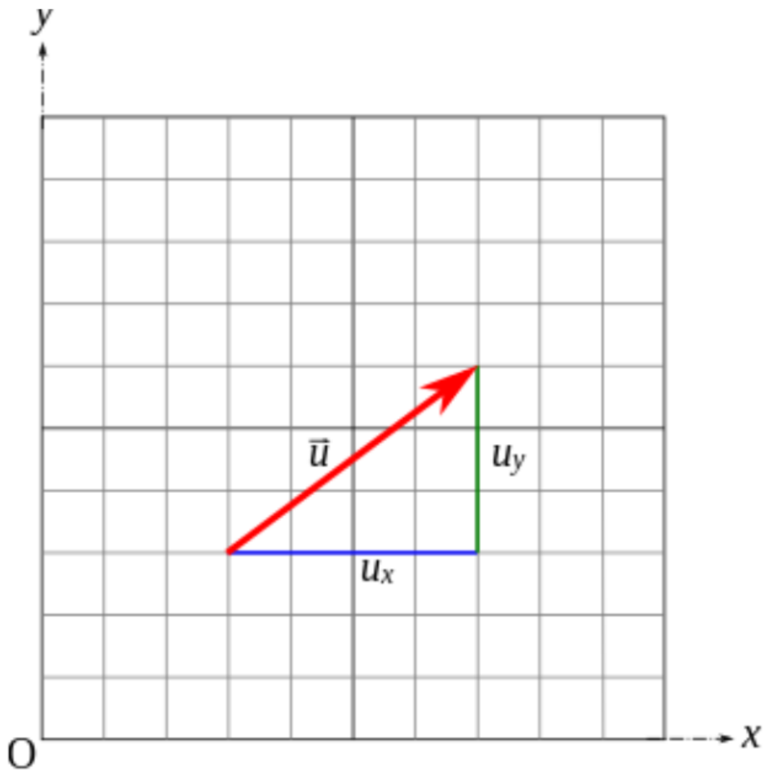
Chaque vecteur peut ainsi être décomposé selon ses composantes horizontales et verticales :

$$\vec{u} = u_x.\vec{i} + u_y.\vec{j}$$

2 – Composantes d'un vecteur

La composante u_x d'un vecteur $\vec{u}$ correspond à la norme **selon le vecteur unitaire** $\vec{\imath}$ de ce vecteur

La composante u_y d'un vecteur $\vec{u}$ correspond à la norme **selon le vecteur unitaire** $\vec{\jmath}$ de ce vecteur



Dans cette situation, on peut déterminer la norme du vecteur $\vec{u}$ en utilisant ses composantes et le théorème de Pythagore

$u_x = 4$

$u_y = 3$

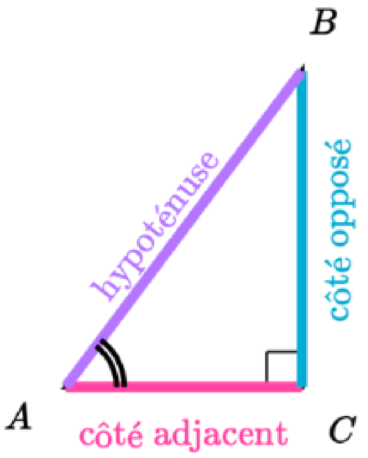
On a donc $\|\vec{u}\| = \sqrt{u_x^2 + {u_y}^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$

3 – Projeter d’un vecteur

En physique, on est régulièrement amenés à **projeter des vecteurs** afin d’en déterminer les composantes dans le repère choisi.

Pour cela, on utilise la trigonométrie vue au collège.

<u>Rappels mathématiques :</u> la trigonométrie dans un triangle rectangle



$$\sin(A) = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

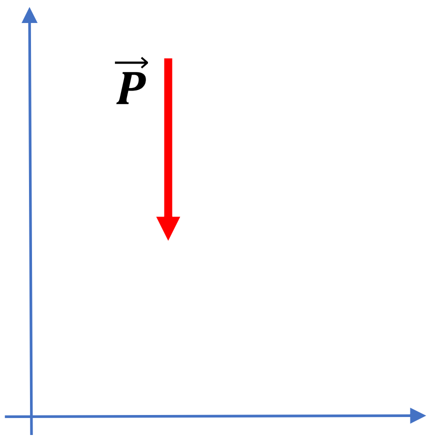
$$\cos(A) = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\tan(A) = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}}$$

4 – Application en physique

En physique, on est régulièrement amenés à **projeter des vecteurs** afin de déterminer les composantes d'un vecteur dans le repère choisi.

de



$$\vec{P} = P_x.\vec{i} + P_y.\vec{j}$$

En connaissant les caractéristiques du poids, on sait que

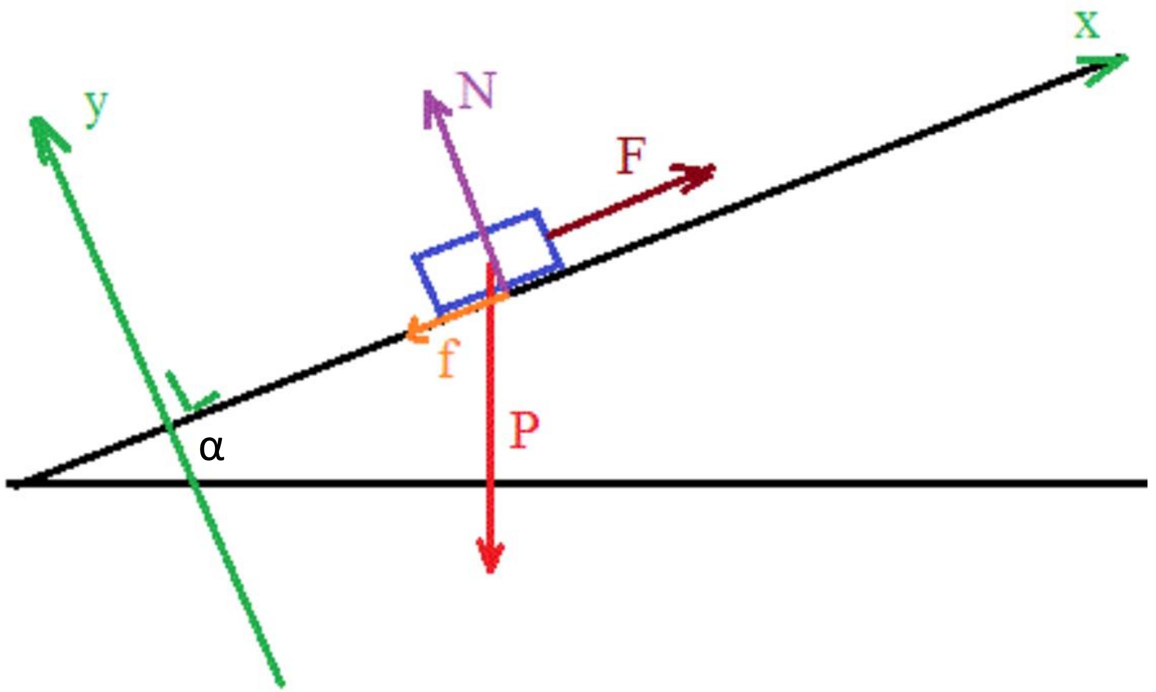
- $P_x = 0$ car la force est verticale

-P_y = - m x g car ce vecteur est de sens opposé à l'axe, valeur masse x champs de pesanteur

On peut décrire le poids en utilisant différentes notations, qui sont équivalentes :

$$\vec{P} : \begin{cases} P_x = 0 \\ P_y = -m \times g \end{cases} \qquad \vec{P}\begin{pmatrix} 0 \\ -m\times g \end{pmatrix}$$

On cherche à donner les composantes de chaque vecteur dans le repère fourni :



$\vec{N}\begin{pmatrix}0\\N\end{pmatrix}$

$\vec{F}\begin{pmatrix}F\\0\end{pmatrix}$

$\vec{f}\begin{pmatrix}-f\\0\end{pmatrix}$

$Pour\ le\ poids, il\ faut\ utiliser\ les\ relations\ de\ trignométrie$:

$\cos \propto = \frac{P_x}{P}$

$\sin \propto = \frac{P_y}{P}$

$\vec{P}\begin{pmatrix}P\times\cos\propto\\P\times\sin\propto\end{pmatrix}$

Problème 2: Ski de vitesse

A Le kilomètre lancé

Le ski de vitesse a pour but d'atteindre la valeur de vitesse la plus élevée possible dans une zone de 100 m appelée zone de chronométrage.

B La zone de chronométrage

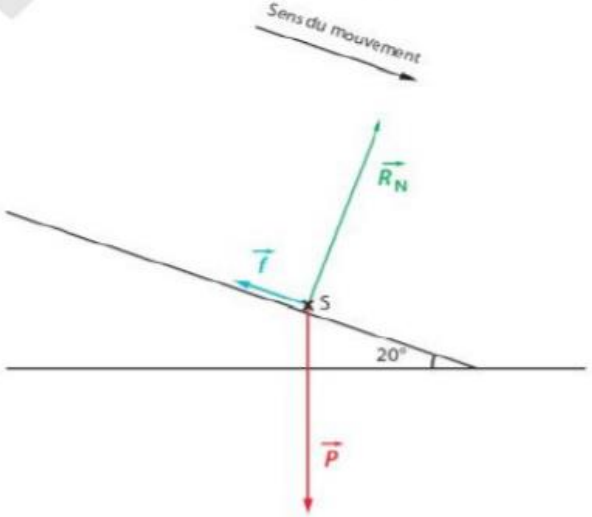
Le skieur entre dans la zone de chronométrage après un élan de quelques centaines de mètres. On suppose que, dans cette zone, le skieur a un mouvement rectiligne uniforme. La piste fait un angle de 20° avec l'horizontale.

Données

- Intensité de la pesanteur $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Masse du skieur et de son équipement $m = 90$ kg.
- La réaction normale de la piste a pour valeur constante $R_N = 845$ N.

C Modélisation des actions mécaniques qui s'exercent sur le skieur

Le skieur est modélisé par un point matériel S.



La force exercée par la piste sur le skieur peut se décomposer en :

– une force perpendiculaire à la piste, appelée réaction normale $\vec{R}_N$ de la piste ;

– une force parallèle à la piste, appelée force de frottement $\vec{f}$.

Sur cette construction, les vecteurs sont représentés sans souci d'échelle.

Question

Déterminez les caractéristiques de la force de frottement qui s'exerce sur le skieur dans la zone de chronométrage.