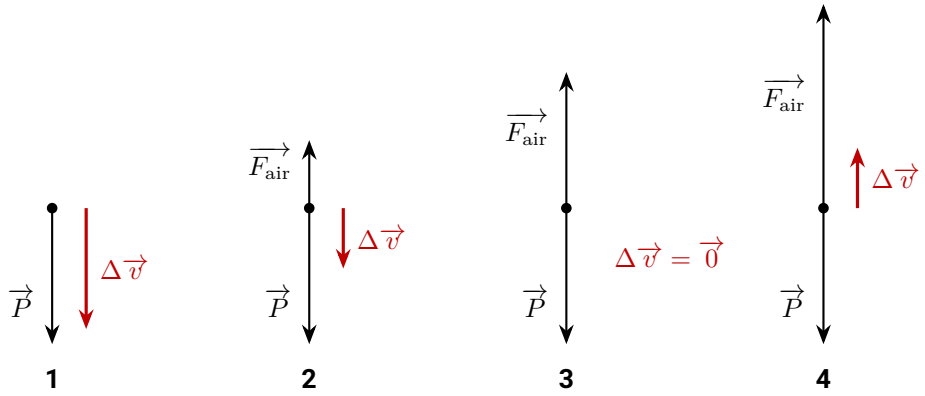
Exercice 1 : Un saut en parachute

Le parachutiste est soumis à $\overrightarrow{P}$ et $\overrightarrow{F_{\text{air}}}$: la somme des forces vaut $\Sigma\overrightarrow{F} = \overrightarrow{P} + \overrightarrow{F_{\text{air}}}$. D'après la forme approchée de la deuxième loi de Newton, $\Sigma\overrightarrow{F} \approx m\dfrac{\Delta\overrightarrow{v}}{\Delta t}$: le vecteur $\Delta\overrightarrow{v}$ a la même direction et le même sens que $\Sigma\overrightarrow{F}$ (la masse m et la durée Δt sont positives). Le parachutiste descend : son vecteur vitesse est vertical, vers le bas.



- **Situation 1** : l'action de l'air est négligeable, seul le poids agit ; $\Sigma\overrightarrow{F} = \overrightarrow{P}$ est vertical, vers le bas. $\Delta\overrightarrow{v}$ est vertical vers le bas, dans le sens du mouvement : la vitesse augmente, le mouvement est accéléré.
- **Situation 2** : $F_{\text{air}} < P$; $\Sigma\overrightarrow{F}$ est encore vertical vers le bas, mais plus petit qu'en 1. $\Delta\overrightarrow{v}$ est vertical vers le bas, plus court : le mouvement est accéléré (la vitesse augmente moins vite).
- **Situation 3** : $F_{\text{air}} = P$; les forces se compensent, $\Sigma\overrightarrow{F} = \overrightarrow{0}$, donc $\Delta\overrightarrow{v} = \overrightarrow{0}$: le vecteur vitesse ne change pas, le mouvement est rectiligne uniforme.
- **Situation 4** : $F_{\text{air}} > P$ (parachute ouvert) ; $\Sigma\overrightarrow{F}$ est vertical vers le haut, donc $\Delta\overrightarrow{v}$ aussi, en sens contraire du mouvement : la vitesse diminue, le mouvement est ralenti.

Exercice 2 : Le saut d'une grenouille

Échelle du document : le segment de $15\,\text{cm}$ réels mesure $5{,}0\,\text{cm}$ sur le sujet ; une longueur mesurée sur le sujet est donc multipliée par 3. Si le segment d'échelle ne mesure pas $5{,}0\,\text{cm}$ sur la copie (impression réduite), utiliser sa longueur mesurée. La durée entre deux positions est $\tau = 30\,\text{ms} = 3{,}0 \times 10^{-2}\,\text{s}$.

1) On approche la vitesse instantanée au point G_6 par la vitesse moyenne calculée sur les deux intervalles qui l'encadrent, de G_5 à G_7 (durée 2τ) :

$$v_6 = \frac{G_5G_7}{2\tau}$$

On mesure $G_5G_7 = 2{,}6\,\text{cm}$ sur le sujet, soit $3 \times 2{,}6 = 7{,}8\,\text{cm} = 7{,}8 \times 10^{-2}\,\text{m}$ en réalité :

$$v_6 = \frac{7{,}8 \times 10^{-2}\,\text{m}}{2 \times 3{,}0 \times 10^{-2}\,\text{s}} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{v_6 \approx 1{,}3\,\text{m·s}^{-1}}$$

Caractéristiques de $\overrightarrow{v_6}$: direction tangente à la trajectoire en G_6, parallèle à (G_5G_7), ici **horizontale** (G_6 est le sommet de la trajectoire) ; sens du mouvement, **vers la droite** ; norme $1{,}3\,\text{m·s}^{-1}$.
Tolérance : G_5G_7 mesuré entre $2{,}5\,\text{cm}$ et $2{,}7\,\text{cm}$, soit v_6 entre $1{,}25\,\text{m·s}^{-1}$ et $1{,}35\,\text{m·s}^{-1}$.

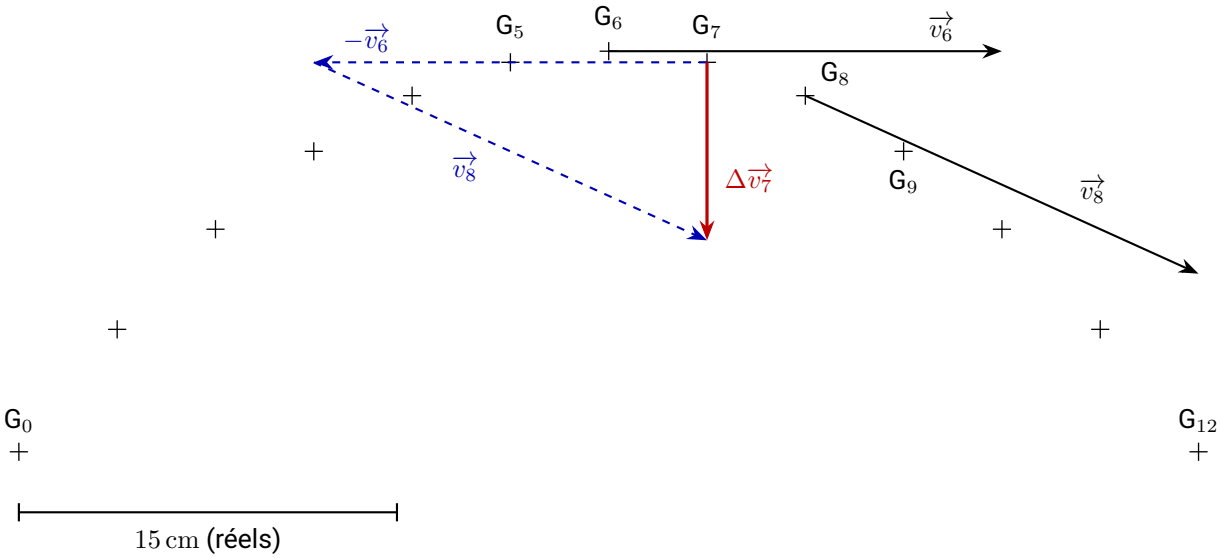
2) De même, $v_8 = \dfrac{G_7G_9}{2\tau}$. On mesure $G_7G_9 = 2{,}85\,\text{cm}$ sur le sujet, soit $3 \times 2{,}85 = 8{,}55\,\text{cm}$ en réalité :

$$v_8 = \frac{8{,}55 \times 10^{-2}\,\text{m}}{2 \times 3{,}0 \times 10^{-2}\,\text{s}} = 1{,}425\,\text{m·s}^{-1} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{v_8 \approx 1{,}4\,\text{m·s}^{-1}}$$

Caractéristiques de $\overrightarrow{v_8}$: direction tangente à la trajectoire en G_8, parallèle à (G_7G_9), inclinée d'environ 24° sous l'horizontale ; sens du mouvement, vers la droite et vers le bas ; norme $1{,}4\,\text{m·s}^{-1}$.
Tolérance : G_7G_9 entre $2{,}75\,\text{cm}$ et $2{,}95\,\text{cm}$, soit v_8 entre $1{,}4\,\text{m·s}^{-1}$ et $1{,}5\,\text{m·s}^{-1}$ (1,4 ou 1,5 accepté).

3) Longueurs des flèches à l'échelle $1\,\text{cm}$ pour $0{,}25\,\text{m·s}^{-1}$: $\ell_6 = \dfrac{1{,}3}{0{,}25} = 5{,}2\,\text{cm}$ et $\ell_8 = \dfrac{1{,}425}{0{,}25} \approx 5{,}7\,\text{cm}$.

Construction en G_7 : $\Delta\overrightarrow{v_7} = \overrightarrow{v_8} - \overrightarrow{v_6} = \overrightarrow{v_8} + (-\overrightarrow{v_6})$. On trace à partir de G_7 le vecteur $-\overrightarrow{v_6}$ (même direction et même norme que $\overrightarrow{v_6}$, sens contraire), puis, à son extrémité, un vecteur égal à $\overrightarrow{v_8}$ (même direction, même sens, même longueur). $\Delta\overrightarrow{v_7}$ va de G_7 à l'extrémité de ce dernier vecteur (en tirets : vecteurs reportés).



On mesure une flèche $\Delta\overrightarrow{v_7}$ de $2{,}35\,\text{cm}$ environ, d'où :

$$\Delta v_7 = 2{,}35 \times 0{,}25\,\text{m·s}^{-1} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\Delta v_7 \approx 0{,}6\,\text{m·s}^{-1}}$$

$\Delta\overrightarrow{v_7}$ est **vertical** et orienté **vers le bas**.
Tolérance : flèche entre $2{,}1\,\text{cm}$ et $2{,}6\,\text{cm}$, soit Δv_7 de $0{,}5\,\text{m·s}^{-1}$ à $0{,}65\,\text{m·s}^{-1}$ accepté. Les normes de $\overrightarrow{v_6}$ et $\overrightarrow{v_8}$ sont voisines, mais les vecteurs n'ont pas la même direction : leur différence n'est pas petite.

4) Forme approchée de la deuxième loi de Newton, entre les dates t_6 et t_8 ($\Delta t = 2\tau$) :

$$\Sigma\overrightarrow{F} \approx m\,\frac{\Delta\overrightarrow{v_7}}{\Delta t}$$

La masse et la durée étant positives, la somme des forces a la même direction et le même sens que $\Delta\overrightarrow{v_7}$: $\Sigma\overrightarrow{F}$ est verticale, orientée vers le bas.
Le poids étant lui aussi vertical et vers le bas, on peut en conclure que l'action de l'air est négligeable devant le poids : la grenouille est en chute libre.

Exercice 3 : Un jeu de lance-pierre

1) **a.** Le poids est proportionnel au champ de pesanteur : $\boxed{\overrightarrow{P} = m\,\overrightarrow{g}}$.

b. $\overrightarrow{g}$ est vertical, vers le bas, de norme g ; l'axe (Oy) est orienté vers le haut. Donc $\overrightarrow{P}$ a pour coordonnées $\boxed{P_x = 0 \text{ et } P_y = -m\,g}$.

2) **a.** Pendant une durée Δt courte, la variation du vecteur vitesse est reliée à la somme des forces par $\boxed{\Sigma\overrightarrow{F} \approx m\,\dfrac{\Delta\overrightarrow{v}}{\Delta t}}$. Ici, $\Sigma\overrightarrow{F} = \overrightarrow{P}$ (seule force).

b. On en tire $\Delta\overrightarrow{v} = \dfrac{\Delta t}{m}\,\overrightarrow{P} = \Delta t\;\overrightarrow{g}$, d'où les coordonnées : $\boxed{\Delta v_x = 0 \text{ et } \Delta v_y = -g\,\Delta t}$.
La masse de l'oiseau n'intervient plus. Le poids étant constant, ces relations sont valables quelle que soit la durée Δt.

3) **a.** Sur toute durée, $\Delta v_x = 0$: la coordonnée v_x ne varie pas, elle reste égale à sa valeur à $t = 0$.
L'oiseau est lancé horizontalement : à $t = 0$, $\overrightarrow{v_0}$ est porté par (Ox), de coordonnées $(v_0\,;\,0)$.
Donc $\boxed{v_x = v_0}$ à toute date.

b. $\Delta v_y = -g\,\Delta t \neq 0$ dès que $\Delta t \neq 0$: la coordonnée v_y varie (elle diminue). Entre la date 0 et la date t ($\Delta t = t$) :

$$v_y(t) - v_y(0) = -g\,t \qquad \text{avec } v_y(0) = 0 \text{ (lancer horizontal), donc} \qquad \boxed{v_y = -g \times t}$$

4) **a.** À $t = 1{,}0\,\text{s}$:

$$v_x = v_0 = 6{,}0\,\text{m·s}^{-1} \qquad \text{et} \qquad v_y = -g\,t = -9{,}8\,\text{N·kg}^{-1} \times 1{,}0\,\text{s}$$

$$\boxed{v_x = 6{,}0\,\text{m·s}^{-1}} \qquad \boxed{v_y = -9{,}8\,\text{m·s}^{-1}}$$

($\text{N·kg}^{-1} = \text{m·s}^{-2}$; le signe « − » indique que l'oiseau descend.)

b. La norme du vecteur vitesse s'obtient à partir de ses coordonnées (théorème de Pythagore) :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{6{,}0^2 + (-9{,}8)^2} = 11{,}49\,\text{m·s}^{-1} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{v \approx 11\,\text{m·s}^{-1}}$$

(deux chiffres significatifs, comme les données ; environ $41\,\text{km·h}^{-1}$).