En première approximation, on considère le corps humain comme un objet à demi solide (os et muscles) dans lequel les fluides (le sang) peuvent circuler. Pour de brèves accélérations, durant moins de 0,2 s, les limites de contrainte des os, des vertèbres et des organes internes sont importantes. Pour des accélérations soutenues durant plus de 0,2 s, le déplacement de la masse sanguine entraine un flux sanguin excessif ou insuffisant dans certaines parties de l'organisme. Bien entendu, c'est dans le cas d'une accélération longitudinale positive que ces effets sont les plus graves. La diminution de pression sanguine dans la tête entraine rapidement une perte de vision, puis la perte de connaissance.

Le tableau 3.2 donne la liste de plusieurs sources d'accélération et leur intensité. L'organisme humain peut supporter une accélération de 45g pendant 0,1 s sans effets néfastes. Pour une période de 1 s, le seuil de tolérance tombe à 10g. Une accélération de 100g durant 0,1 s occasionne des blessures graves, voire fatales. Dans un accident d'automobile ou d'avion, une ceinture de sécurité ou un harnais bien ajusté donne au passager la même accélération que le véhicule, peut-être 100g environ pendant 0,03 s. S'il n'était pas retenu, le corps subirait une accélération beaucoup plus importante (500g) en heurtant un obstacle comme un pare-brise.

Le tableau 3.3 donne la liste de quelques réactions physiologiques provoquées par des accélérations soutenues. Les pilotes de combat sont parfois soumis à des accélérations de 6g lors de certaines manœuvres. Pour élever leur seuil de syncope, on les entraine à crisper leurs muscles en grimaçant, ce qui réduit l'effet de l'accélération d'environ 0,5g. Les « vêtements anti-g », composés de bandes ou de poignets gonflables évitant l'afflux de sang dans les jambes et l'abdomen, réduisent l'accélération apparente de 1,5g environ. Le seuil de tolérance est voisin de 7g pendant 15 s.

Nous nous sommes surtout intéressés à l'accélération ; les ingénieurs chargés des études de sécurité examinent également le taux de variation de l'accélération, c'est-à-dire da/dt. On estime que cette quantité, appelée secousse, a des effets encore plus importants.

(a)

(b)

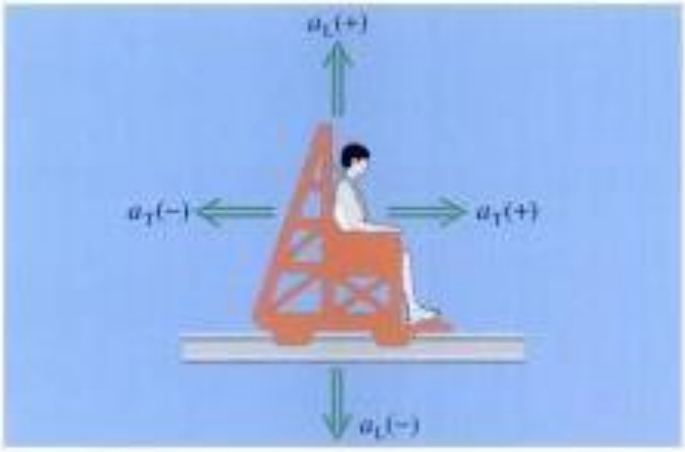

Figure 3.31 ▲

(a) Le colonel John Stapp soumis à une forte accélération dans une capsule d'entraînement. (b) L'accélération subie par le corps humain est soit longitudinale (selon un axe allant de la tête aux pieds), soit transversale (selon un axe avant-arrière).

Tableau 3.2 ▼
Valeurs typiques d'accélérations

Source d'accélération	a (g)	Durée (s)
Ascenseurs	0,2	3
Automobile (arrêt brutal)	1	3
Atterrissage en parachute	2-6	0,2-0,3
Catapulte	5	0,1
Ouverture d'un parachute	8-30	0,2-0,4
Siège éjectable	15-20	0,2
Chute dans un filet de pompier	20	0,1
Accident d'automobile ou d'avion (éventuellement non mortel)	20-100	0,02-0,1
Capsule d'entraînement	45	0,2-0,4
Atterrissage de chute libre (non mortel)	150	0,02
Accident d'automobile ou d'avion (mortel)	150-1000	0,01-0,001

Tableau 3.3 ▼
Effet de diverses accélérations

Accélération (g)	Effets sur le corps humain
	Longitudinale positive (a_L)
2,5	Difficulté à se lever
3-4	Incapacité de se lever, vision trouble après 3 s
6	Syncope en 5 s, suivie d'une perte de connaissance, faute d'entraînement ou de vêtement anti-g
	Longitudinale négative (a_L)
−1	Congestion désagréable du visage
−2 à −3	Congestion prononcée du visage, maux de tête lancinants, vision brouillée
−5	Rarement tolérée
	Transversale positive (a_T)
2-3	Augmentation de pression abdominale, accommodation difficile
4-6	Respiration difficile, douleurs thoraciques
6-12	Respiration très difficile et douleurs thoraciques prononcées. Immobilisation des bras et jambes à 8g

(Source : J. F. Parker Jr. et V. R. West, *Bioastronautics Data Books*, 2e édition, NASA SP-3006, 1973.)

RÉSUMÉ

Le déplacement d'une particule correspond à sa variation de position.

$$\Delta x = x_f - x_i \tag{3.1}$$

La vitesse moyenne durant un intervalle de temps Δt est

$$v_{x_{moy}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{3.3}$$

Elle correspond à la pente de la droite joignant le point initial et le point final de l'intervalle de temps Δt sur le graphe de x en fonction de t. La vitesse instantanée

$$v_x = \frac{dx}{dt} \tag{3.5}$$

est le taux de variation de la position par rapport au temps. Elle correspond à la pente de la tangente à t de la courbe de x en fonction de t.

L'accélération moyenne durant un intervalle de temps Δt est

$$a_{x_{moy}} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \tag{3.6}$$

Éléments sous droits d'auteur

C'est la pente de la droite joignant le point initial et le point final de l'intervalle de temps Δt sur le graphe de v_x en fonction de t.

L'accélération instantanée

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} \tag{3.7}$$

est le taux de variation de la vitesse par rapport au temps. C'est la pente de la tangente à t de la courbe de v_x en fonction de t.

Dans un intervalle de temps donné, l'aire située sous la courbe de v_x en fonction de t correspond au déplacement. L'aire située sous la courbe de a_x en fonction de t correspond à la variation de vitesse durant cet intervalle de temps. Les relations graphiques entre x, v_x et a_x sont résumées à la figure 3.32.

Les équations de la cinématique à accélération constante sont

$$v_x = v_{x0} + a_x t \tag{3.9}$$

$$x = x_0 + \tfrac{1}{2}(v_{x0} + v_x)t \tag{3.10}$$

$$x = x_0 + v_{x0}t + \tfrac{1}{2}a_x t^2 \tag{3.11}$$

$$v_x^2 = v_{x0}^2 + 2a_x(x - x_0) \tag{3.12}$$

où v_{x0}, v_x et a_x sont les composantes en x des vecteurs $\vec{\mathbf{v}}_0$, $\vec{\mathbf{v}}$ et $\vec{\mathbf{a}}$. Leurs signes sont déterminés par leur sens par rapport à l'axe positif choisi.

En l'absence de résistance de l'air, tous les corps tombent avec la même accélération, quelle que soit leur forme ou leur taille. Si l'on fait pointer l'axe des y vers le haut, alors $\vec{\mathbf{a}} = -g\vec{\mathbf{j}}$, où g, l'accélération de la chute libre, est un scalaire positif égal à 9,8 m/s². En présence de résistance de l'air, l'accélération n'est pas constante. Elle diminue au fur et à mesure que le corps prend de la vitesse et peut même devenir nulle lorsqu'il atteint sa vitesse limite.

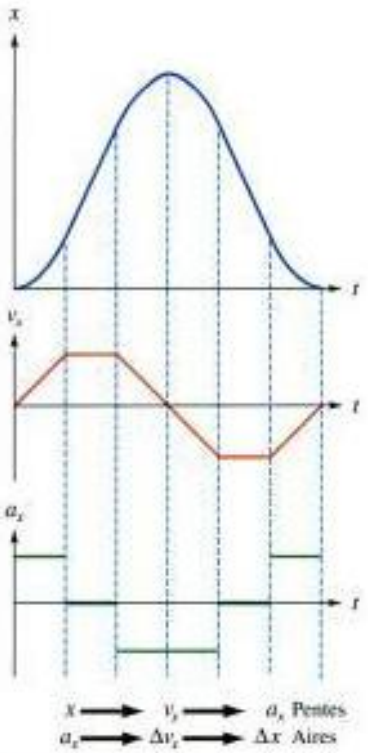

Figure 3.32 ▲
La relation entre les graphes de x en fonction de t, de v_x en fonction de t et de a_x en fonction de t, pour diverses accélérations constantes.

TERMES IMPORTANTS

accélération instantanée (p. 52)
accélération moyenne (p. 51)
chute libre (p. 64)
cinématique (p. 45)
déplacement (p. 46)
distance parcourue (p. 46)
équations de la cinématique à accélération constante (p. 56)
particule (p. 46)
rotation (p. 45)
translation (p. 45)
vibration (p. 45)
vitesse instantanée (p. 49)
vitesse limite (p. 68)
vitesse moyenne (p. 47)
vitesse scalaire moyenne (p. 47)

RÉVISION

R1. Tracez approximativement le graphe de la position en fonction du temps d'un objet (a) immobile à $x = 3$ m ; (b) partant de l'origine avec une vitesse constante $v_x > 0$; (c) partant de $x < 0$ avec une vitesse $v_x > 0$ et une accélération $a_x > 0$.

R2. Pour chacun des cas de la question précédente, tracez approximativement le graphe de la vitesse et celui de l'accélération en fonction du temps.