Exercice 1 : mécanique du vol d'un avion

Caractéristiques générales de l'airbus A320 :

	Équipage	Nombre de passagers	Longueur	Envergure	Masse à vide	Masse maximale	Vitesse de croisière	Vitesse maximale	Poussée totale maximale	Altitude maximale de croisière
Airbus A320	6	2^e classe 150	37,57 m	34,10 m	42,4 tonnes	77,0 tonnes	447 nœuds	470 nœuds	320 × 10^3 N	11,70 km
		Classe unique 164								
		Maximum 180								

1 nœud = 1,852 km.h^{-1}

1. L'avion en vol est soumis à un certain nombre d'actions modélisées par des forces dont :

- la portance (force qui permet le maintien de l'avion en vol) notée $\vec{R}$,
- la traînée (force de frottement) notée $\vec{T}$,
- la poussée (force motrice) notée $\vec{F}$.

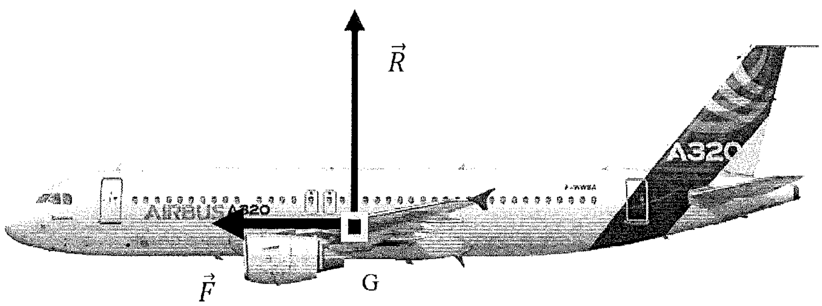
L'annexe 1, donne les expressions ou valeurs de celles-ci.

1.1. Compléter, si besoin, le bilan des forces s'exerçant sur l'appareil en vol de croisière.

1.2. En **vol de croisière, à une altitude maximale d'environ 12 km, le mouvement de l'avion est rectiligne et uniforme**.

1.2.1. Dans ce cas, donner la relation entre les différentes forces.

1.2.2. Compléter le document ci-dessous en indiquant les vecteurs force présents :

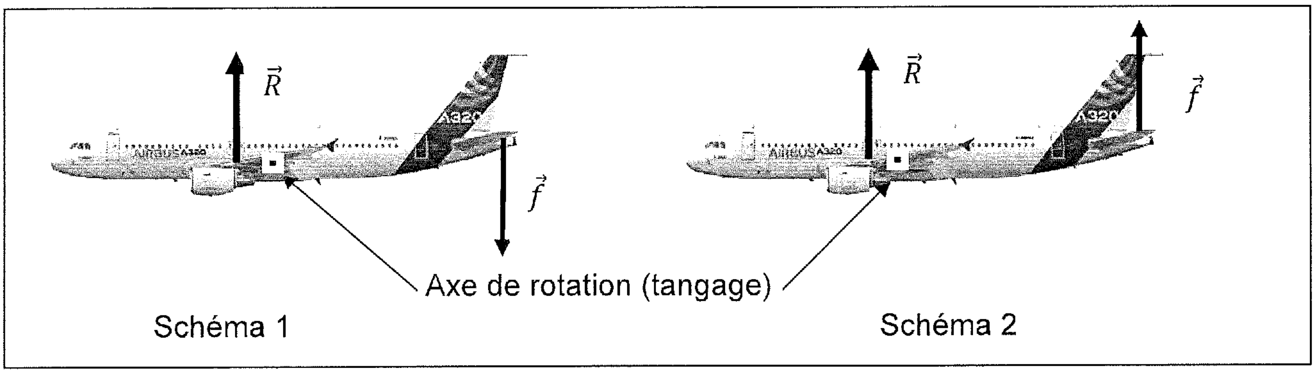


1.2.3. À partir du résultat précédent et à l'aide de l'annexe 1, montrer que :

- la valeur de la portance R est égale à 539 kN,
- la valeur de la traînée T est égale à 31,0 kN.

1.3. À l'aide des annexes 1 et 2, exprimer et calculer la vitesse v de l'avion avec 3 chiffres significatifs. Ce résultat est-il en accord avec celui indiqué par le constructeur (caractéristiques générales de l'Airbus A320 en introduction) ?

Pour réaliser une rotation autour de l'axe de tangage, le pilote pousse ou tire sur le « manche ». Cette action crée une force (notée $\vec{f}$) exercée sur l'empennage arrière comme indiquée ci-dessous.

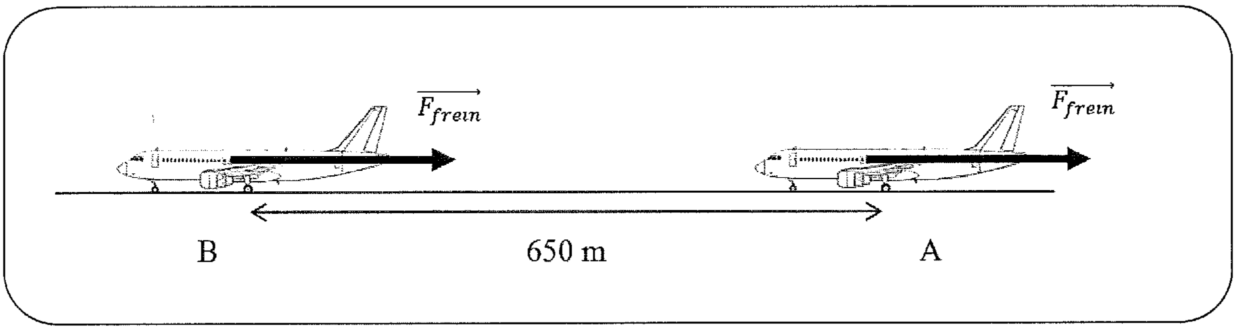


2. Indiquer le schéma qui correspond à un piqué de l'avion (situation où l'avion s'incline vers l'avant).

3. Après la descente, l'appareil atterrit. Sa masse est alors égale à 50 tonnes.

Il touche le sol en A avec une vitesse égale à 62,0 m.s^{-1} ; il s'arrête en B en 16 secondes après avoir parcouru 650 m.

On assimile la force de freinage notée $\overrightarrow{F_{frein}}$ à la résultante des forces appliquées à l'avion et on la suppose constante lors du freinage.



3.1. Calculer la décélération a au cours de la phase d'atterrissage.

3.2. Exprimer et calculer la variation d'énergie cinétique entre A et B.

3.3. Exprimer le travail de la force de freinage $\overrightarrow{F_{frein}}$ au cours du déplacement AB.

3.4. À l'aide de l'annexe 3, et en supposant que seule la force de freinage réalise un travail, déterminer la valeur de la force de freinage.

DOCUMENTS ANNEXES

Annexe 1

Caractéristiques vol en croisière (à 11,7 km d'altitude)

Masse avion : 55,0 tonnes

Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}80\ N \cdot kg^{-1}$

Poussée des réacteurs : $F = 31{,}0 \times 10^3\ N$

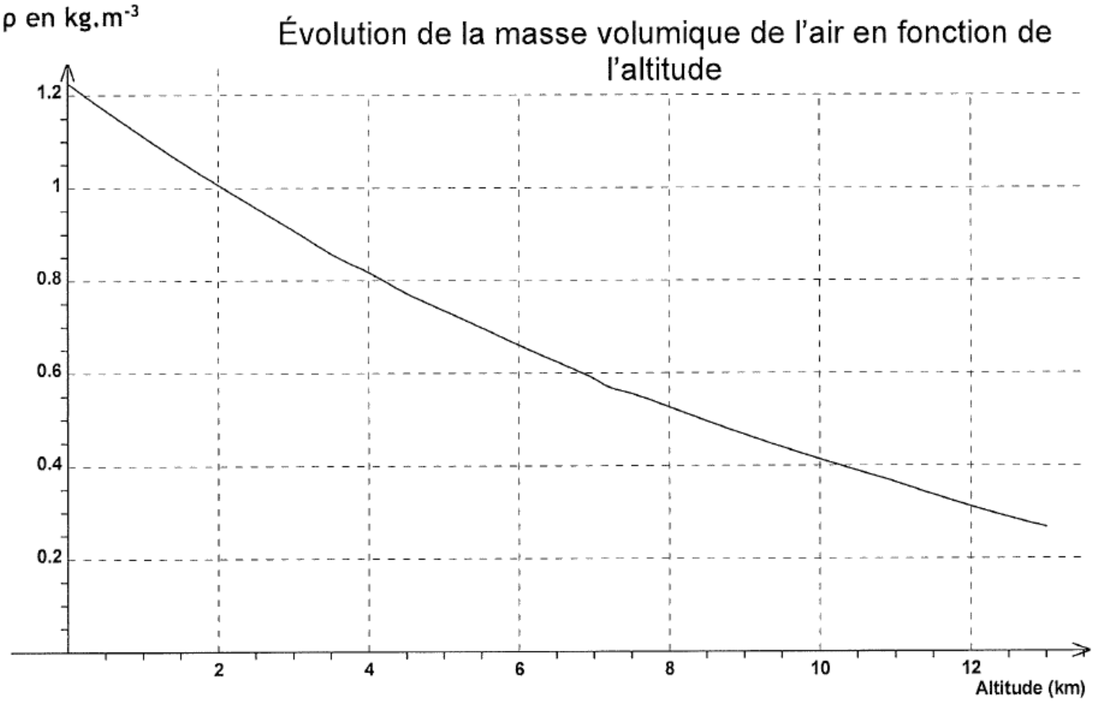
Portance R : expression $R = \frac{1}{2}\,\rho.\,S.\,v^2.C_z$ avec $C_z = 0{,}52$

Portance T : expression $T = \frac{1}{2}\,\rho.\,S.\,v^2.C_x$ avec $C_x = 0{,}030$

Vitesse : v = ?

Surface : $S = 122\ m^2$

Annexe 2



Annexe 3

Théorème de l'énergie cinétique

La variation d'énergie cinétique entre A et B est égale à la somme des travaux des forces sur le déplacement AB.

Exercice 2 : MÉCANIQUE DU SAUT EN « CHUTE LIBRE »

Une parachutiste saute d'un avion à une altitude de 4,5 km. Pour simplifier, on ne considèrera que le mouvement vertical et la vitesse initiale sera supposée nulle.

La montre connectée de la parachutiste a permis d'obtenir l'évolution de son altitude et de sa vitesse lors du saut. Elles sont représentées sur l'annexe A3 de la page 6. Deux phases se distinguent ; elles seront étudiées successivement.

Données

Masse du parachutiste avec équipement :	**$m' = 80$ kg**
Volume du parachutiste :	**$V = 70 \times 10^{-3}$ m^3**
Masse volumique de l'air :	**$\rho_{air} = 1,2$ kg·m^{-3}**
Intensité de la pesanteur :	**$g = 9,8$ m·s^{-2}**
Altitude de départ :	**$z = 4,5$ km**

1. Première phase : 0 < t < 3 s

1.1. Donner les caractéristiques (direction, sens, norme et point d'application) du poids qui s'applique sur la parachutiste.

1.2. Montrer, à l'aide de l'annexe 1, que l'on peut négliger la poussée d'Archimède qui s'applique sur la parachutiste.

1.3. Justifier, sans calcul et à l'aide l'annexe 2, que l'on peut négliger la force de trainée pendant cette première phase.

1.4. Rappeler l'expression mathématique du principe fondamental de la dynamique.

Montrer que la valeur de l'accélération de la parachutiste pendant cette première phase est $a = g$.

1.5. On modélise la courbe par la droite en pointillé représentée sur l'annexe 3 : comment qualifier le mouvement lors de cette première phase ?

1.6. Montrer que l'on peut estimer la distance, d_1, parcourue par la parachutiste pendant les 3 premières secondes, à $d_1 \approx 44$ m.

Données

Pour un mouvement rectiligne uniformément accéléré :	**$d = ½ \times a \times t^2 + v_0 \times t$**
Pour un mouvement rectiligne uniforme :	**$d = v_0 \times t$**

avec : t : temps en secondes

a : accélération en m·s^{-2}

v_0 : vitesse initiale en m·s^{-1}

Remarque : la deuxième phase (3 s < t < 15 s) est trop délicate à étudier ici.

2. Troisième phase : 15 s < t < 64 s

2.1. Comment qualifier le mouvement de la parachutiste pendant la troisième phase ?

2.2. Nommer les forces non négligeables qui agissent pendant la troisième phase de la chute. Le terme de « chute libre », au sens du physicien ou de la physicienne, correspond au cas où un objet n'est soumis qu'à l'action de la pesanteur. La parachutiste est-elle en « chute libre » au sens de la physique ?

2.3. On montre que la distance, d_2, parcourue par la parachutiste pendant la troisième phase peut s'évaluer par $d_2 = v_{limite} \times (t - 15)$ où t représente le temps, en s, et v_{limite}, la vitesse limite en $m \cdot s^{-1}$. Montrer que la distance parcourue pendant cette phase, jusqu'à l'ouverture du parachute, peut s'estimer à $d_2 \approx 2{,}8 \times 10^3$ m.

2.4. Sachant que la parachutiste a parcouru environ 550 m pendant la deuxième phase, en déduire la distance totale, *d*, parcourue lors de la chute, c'est-à-dire jusqu'à ouverture du parachute. Le résultat est-il en accord avec le relevé altimétrique ? Justifier.

2.5. En appliquant le principe fondamental de la dynamique à la parachutiste, montrer que l'intensité de la trainée vaut $F_x = 785$ N.

2.6. On suppose que la parachutiste adopte une position « étendue » (horizontale et bras écartés) pendant toute la chute et pour laquelle la surface frontale vaut $S = 1{,}0$ m^2. Déterminer avec une précision de 2 chiffres significatifs, le C_x de la parachutiste dans cette position.

2.7. En déduire la forme à laquelle la parachutiste peut être assimilée.

Annexe 1 : poussée d'Archimède

Tout corps plongé dans un fluide (comme l'air ou l'eau) subit de la part de ce fluide une force (poussée), verticale, vers le haut dont l'intensité est égale au poids du volume de fluide déplacé (ce volume est donc égal au volume immergé du corps). L'intensité, π_a , de la poussée d'Archimède peut donc se calculer par :

$$\pi_a = \rho_{fluide} \times V_{corps} \times g$$

avec :

ρ_{fluide} : masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$

V_{corps} : volume immergé (dans le fluide) du corps en m^3

Annexe 2 : force de trainée aérodynamique ou force de frottement fluide

Lorsqu'un solide se déplace dans un fluide (l'air ou l'eau), pour des vitesses relativement importantes, une force de résistance aérodynamique s'oppose au déplacement.

L'intensité de cette trainée s'exprime par la relation :

$$F_x = \frac{1}{2} \times \rho_a \times S \times C_x \times v^2$$

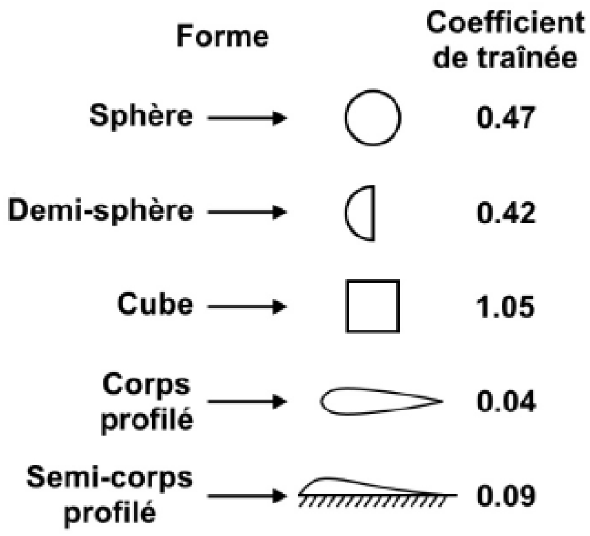
avec :

v : vitesse du solide en $m \cdot s^{-1}$,

ρ_a : masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$,

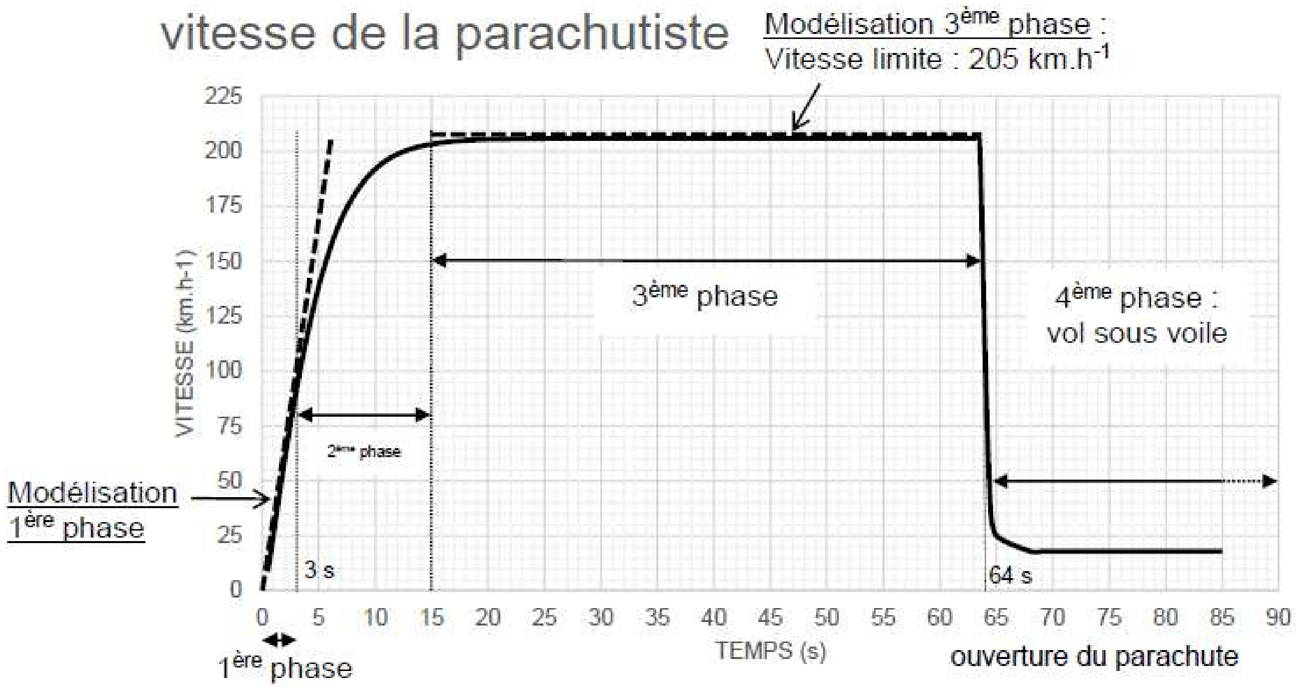
S : surface frontale ou maitre couple en m^2

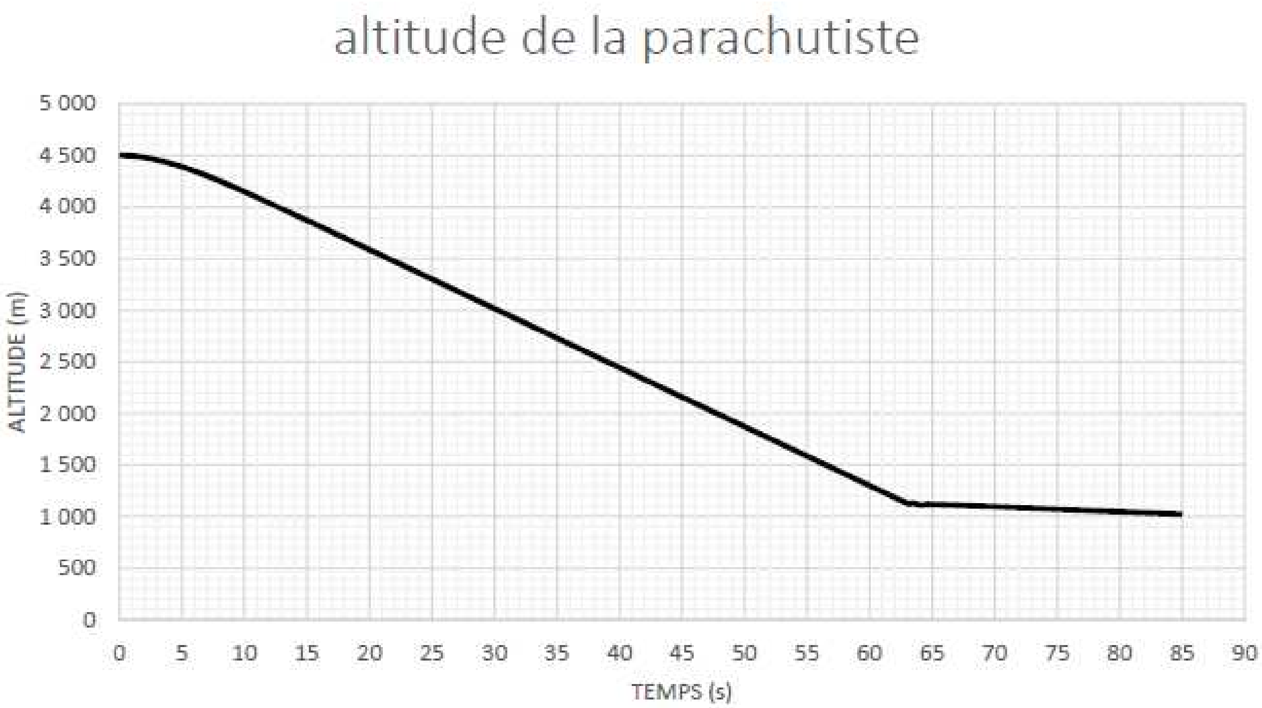
C_x : coefficient sans unité reflétant l'aérodynamisme



Mesures des coefficients de traînée

Annexe 3 : Évolutions de la vitesse et de l'altitude de la parachutiste pendant le saut



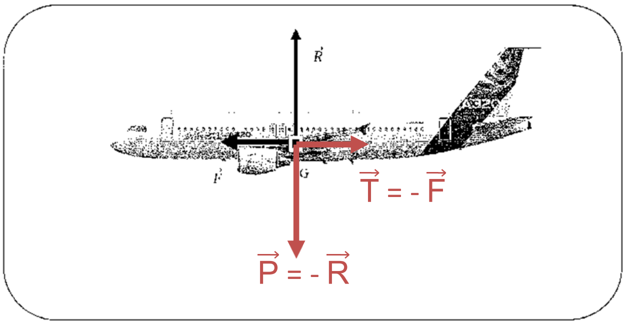


Exercice 1 : mécanique du vol d'un avion

1.1. Dans le bilan, il manque le poids $\vec{P}$ force verticale orientée vers le bas de valeur P = m × g = 55,0·10³ kg × 9,80 N·kg⁻¹ = 5,39·10⁵ N

1.2.1. Le mouvement est rectiligne et uniforme, d'après le principe d'inertie, l'avion est alors soumis à des forces qui se compensent : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} + \vec{F} = \vec{0}$

1.2.2. Document réponse DR1 :



1.2.3. D'après la réponse précédente, la valeur de la portance R est égale à celle du poids P : donc R = 5,39·10⁵ N = 539 kN
De même, la valeur de la trainée T est égale à celle de la poussée F : donc T = 31,0·10³ N = 31,0 kN.

1.3. Si l'avion vol à une altitude de 12 km, d'après le document B2 : la masse volumique de l'air est égale à 0,3 kg·m⁻³.
D'après le document B2 : $T = \frac{1}{2} \rho S v^2 C_x$

Donc $v = \sqrt{\dfrac{2T}{\rho \cdot S \cdot C_x}} = \sqrt{\dfrac{2 \times 31{,}0 \cdot 10^3}{0{,}3 \times 122 \times 0{,}030}} = 238 \text{ m·s}^{-1}$

Le document page 2 indique une vitesse de croisière de 447 nœuds.
Avec 1 nœud = 1,852 km·h⁻¹, on trouve donc une vitesse de 828 km·h⁻¹, soit 230 m·s⁻¹.
Il y a un écart de moins de 4% entre les deux valeurs, elles sont donc en accord.

2. Le piqué correspond au schéma 2 : la force $\vec{f}$ provoque une rotation de l'avion dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

3.1. La décélération est $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{|0 - 62{,}0|}{16} = 3{,}87 \text{ m·s}^{-2}$.

3.2. $\Delta E_C = E_C(B) - E_C(A) = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = 0 - \frac{1}{2} \times 50 \cdot 10^3 \times 62{,}0^2 = -9{,}61 \cdot 10^7$ J.

3.3. $W_{A \to B}(\vec{F}_{frein}) = \vec{F}_{frein} \cdot \vec{AB} = -F_{frein} \times AB$

3.4. D'après le théorème de l'énergie cinétique (document B3) :
$\Delta E_C = W_{A \to B}(\vec{F}_{frein}) = -F_{frein} \times AB$

Donc $F_{frein} = \dfrac{\Delta E_C}{-AB} = \dfrac{-9{,}61 \cdot 10^7}{-650} = 1{,}48 \cdot 10^5$ N

Exercice 2 : MÉCANIQUE DU SAUT EN « CHUTE LIBRE »

1.1. Le poids est vertical, vers le bas, s'applique au centre de gravité du système.
Norme : $P = m \times g = 785$ N

1.2. $\pi_a = 1{,}2 \times 70 \cdot 10^{-3} \times 9{,}81 = 0{,}82$ N
Cette valeur est très inférieure au poids (785 N), la poussée est donc négligeable.

1.3. Lors des premiers mètres, la vitesse du parachutiste est encore suffisamment faible pour considérer que la trainée (proportionnelle au carré de la vitesse) est petite par rapport au poids.

1.4. D'après le principe fondamental de la dynamique : $\vec{P} = m \times \vec{a}$
En projetant sur un axe vertical, on a alors $P = m \times a$
Donc $m \times g = m \times a$
Soit $a = g$

1.5. Sur la première phase, le mouvement est rectiligne uniformément accéléré (l'accélération est constante)

1.6. D'après les données : $d_1 = ½ \times a \times t^2 + v_0 \times t$
Avec $v_0 = 0$, on a $d_1 = ½ \times 9{,}8 \times 3^2 = 44$ m

2.1. Sur la deuxième phase, la vitesse est constante : le mouvement est rectiligne uniforme avec $v_{limite} = 205\ km \cdot h^{-1}$.

2.2. Les forces non négligeables agissant ici sont le poids et la trainée (la vitesse limite atteinte est non négligeable). La parachutiste n'est pas en chute libre au sens du physicien.

2.3. $d_2 = v_{limite} \times (t - 15)$
avec $v_{limite} = 205\ km \cdot h^{-1} = 57\ m \cdot s^{-1}$
L'ouverture du parachute a lieu à t = 64s
$d_2 = 57 \times (64 - 15) = 2793\ m \approx 2{,}8 \times 10^3$ m.

2.4. $d = 2{,}8 \times 10^3 + 550 + 44 = 3\,394\ m \approx 3{,}4 \times 10^3$ m.
D'après l'annexe 3, la perte d'altitude entre t = 0s et t = 64 s, vaut :
d = 4 500 – 1 100 = 3 400 m
Le résultat est cohérent

2.5. D'après le principe fondamental de la dynamique : $\vec{P} + \vec{F_x} = m \times \vec{a} = \vec{0}$ puisque la vitesse est constante, alors l'accélération est nulle.
Donc $\vec{P}$ et $\vec{F_x}$ sont deux forces opposées de même valeur : $F_x = P = 785$ N.

2.6. $F_x = ½ \times \rho_a \times S \times C_x \times v^2$
Avec $v = 57\ m \cdot s^{-1}$, on trouve $C_x = 0{,}40$.

2.7. D'après l'annexe 2, ce C_x correspond à une forme de parachutiste qui se rapproche d'une demi-sphère.