

Chapitre05 « Deuxième loi de Newton »

ÉTUDE MÉCANIQUE

- Définir le **système étudié** et le modéliser par un **point**, par exemple le **centre de masse**.
- Définir le **référentiel** d'étude, qui doit être **galiléen**.
- Faire le **bilan des forces** et les représenter sur un schéma.



LIEN ENTRE MOUVEMENT ET FORCES

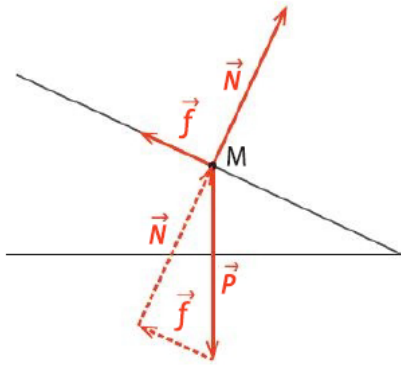
La somme vectorielle des forces est **nulle**.

→ **Équilibre**

1^{re} loi de Newton

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \iff \vec{v} = \text{cste}$$

Le système a un **mouvement rectiligne uniforme** ou est **au repos** dans un référentiel galiléen.

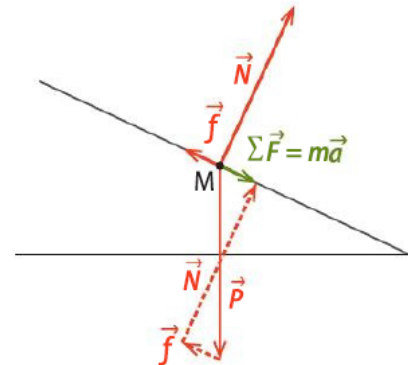


La somme vectorielle des forces est **non nulle**.

2^e loi de Newton

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Le système a une **accélération \vec{a} non nulle** dans un référentiel galiléen (**mouvement non rectiligne ou non uniforme**).



3^e loi de Newton

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

Deux systèmes A et B en interaction exercent l'un sur l'autre des **forces opposées**.



Mêmes norme et direction mais sens opposés.

1^{re} loi de Newton : Principe d'inertie

2^e loi de Newton : Principe fondamental de la dynamique

3^e loi de Newton : Principe des actions réciproques

QCM

Choisir la ou les bonnes réponses.

A

B

C

Description d'un système

- 12 Où se trouve M, centre de masse du système {panier + contenu} ?
- 13 Où se trouve M, centre de masse du système {panier vide} ?



Première loi de Newton : équilibre d'un système

- 14 Le poids d'une moto au repos a pour norme 2,2 kN. Le sol exerce sur la moto :
- 15 Pour élever un objet de poids 100 N à vitesse constante, il faut exercer une force verticale :
- 16 Dans quel schéma M est-il animé d'un mouvement rectiligne et uniforme dans le référentiel du plan incliné ?

une force de 2,2 kN.

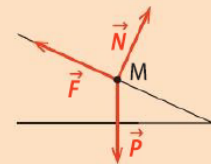
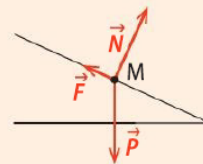
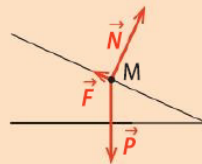
une force verticale vers le bas.

une force verticale vers le haut.

de norme supérieure à 100 N.

de norme inférieure à 100 N.

de norme égale à 100 N.



Deuxième loi de Newton

- 17 Dans le cas A de la question 16, le point M, lâché sans vitesse initiale, est en mouvement :
- 18 Dans le cas C de la question 16, le point M, lâché sans vitesse initiale, est en mouvement :
- 19 Un scooter de masse 150 kg va en ligne droite avec une accélération de $2,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. La somme des forces :
- 20 Le mouvement de ce système :
- 21 Une fusée de 750 t décolle verticalement. La somme des forces subies a pour norme 12 MN.

accélééré vers le bas de la pente.

accélééré vers le haut de la pente.

ralenti vers le bas de la pente.

accélééré vers le bas de la pente.

accélééré vers le haut de la pente.

ralenti vers le bas de la pente.

est nulle.

a pour norme 300 N.

a pour norme 75 N.

peut être uniforme.

peut être ralenti.

peut être accéléré.

L'accélération de la fusée vaut $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

La somme des forces est verticale et vers le bas.

La vitesse de la fusée est constante.

Troisième loi de Newton

- 22 Le poids d'une balle en chute libre vaut 1 N. La balle exerce sur la Terre :
- 23 Une charge q_1 exerce une force de 10^{-8} N sur une charge q_2 .

une force de 1 N.

aucune force.

une force de même direction mais de sens opposé.

q_2 n'exerce pas de force sur q_1 .

q_2 exerce une force de 10^8 N sur q_1 .

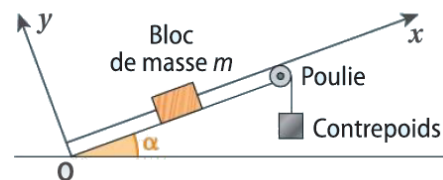
q_2 exerce une force de 10^{-8} N sur q_1 .

25 Une poulie

Un bloc de masse $m = 10,0 \text{ kg}$ est posé sur un plan incliné d'angle $\alpha = 20,0^\circ$ avec l'horizontale. Le bloc est tiré en ligne droite à l'aide d'un contre poids par l'intermédiaire d'une poulie. Le bloc avance à vitesse constante de norme $v_0 = 0,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On étudie le système {bloc} dans le référentiel terrestre supposé galiléen et on néglige toute action de l'air. On suppose que le bloc subit des frottements de norme constante de la part du plan incliné et que la tension du fil est une force constante de norme $F = 100 \text{ N}$.

- Faire le bilan des forces s'appliquant sur le bloc.
- Sans souci d'échelle, représenter les forces s'appliquant sur le bloc, que l'on matérialisera par un point matériel.
- En utilisant une des lois de Newton que l'on énoncera, déterminer la norme de chacune des forces.



Bloc tiré par l'intermédiaire d'une poulie.

Donnée

Norme du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$

26 Vol d'un drone

Les drones de loisirs à quatre hélices sont des véhicules aériens de faible dimension. Ils sont vendus au grand public comme un jeu pour l'intérieur ou l'extérieur.

Dans cet exercice, on étudie un drone, de masse $m = 110 \text{ g}$, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

On suppose que les seules forces qui s'appliquent sur le drone sont son poids \vec{P} et une force de poussée \vec{F} verticale, réglable par l'utilisateur. À l'instant initial, le drone est positionné à l'origine du repère (doc. 1).

Donnée Norme du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$

1 Décollage

Sous l'action d'une force de poussée verticale, le drone décolle, sans vitesse initiale. L'évolution temporelle de la coordonnée verticale de son accélération est représentée sur le doc. 2 à partir de l'instant $t = 0 \text{ s}$ où il n'est plus en contact avec le sol.

- À partir du graphique (doc. 2), donner la valeur de la coordonnée verticale de l'accélération. En déduire les expressions temporelles des coordonnées verticales de la vitesse et de la position du drone, en utilisant les conditions initiales du problème.
- À l'aide de la deuxième loi de Newton, comparer qualitativement les normes des forces \vec{P} et \vec{F} lors du décollage. Justifier la réponse.
- Déterminer la norme de la force de poussée pendant le décollage.

2 Suite du vol

Arrivé à l'altitude $y_1 = 25 \text{ m}$, le drone continue sa montée verticale mais l'utilisateur lui donne une vitesse constante.

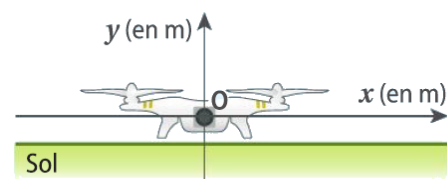
- Quelle est la vitesse atteinte par le drone à cette altitude ?
- Que peut-on dire du mouvement du drone au-delà de 25 m ?
En déduire la nouvelle norme de la force de poussée.

3 Matériel embarqué

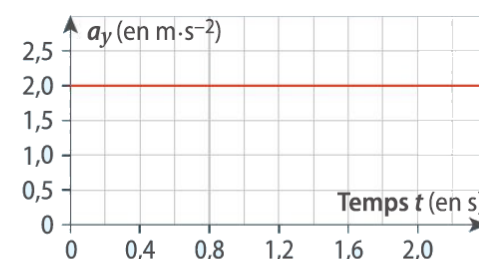
Sur le drone, il est possible de fixer une webcam de masse m_w . On suppose que la force de poussée maximale vaut $F_{\text{max}} = 1,3 \text{ N}$. Quelle serait, en théorie, la masse maximale de la webcam à partir de laquelle le décollage ne serait plus possible ?



Drone en phase de décollage.



Doc. 1 Position du drone à l'instant initial



Doc. 2 Évolution temporelle de l'accélération verticale du drone lors du décollage.

Adapté du sujet de Bac Pondichéry, 2016.

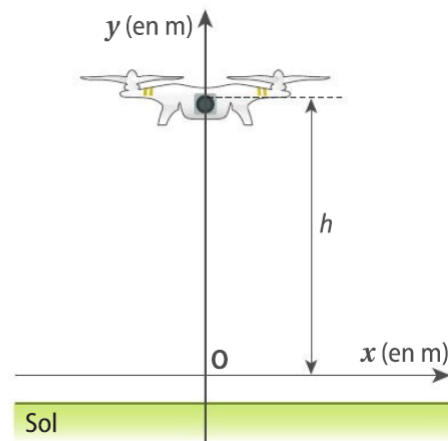
27 Attention, chute de drone

Données On utilisera les données de l'exercice précédent.

Un oiseau percute le drone en plein vol, situé alors à une hauteur $h = 40$ m. L'impact casse deux hélices. La norme de la force de poussée maximale est désormais $F = 0,80$ N. Elle est insuffisante pour maintenir le drone en vol : son altitude baisse progressivement.

On étudie le drone en chute à partir de l'impact, considéré comme l'instant initial à $t = 0$ s. La vitesse initiale du drone est considérée comme nulle.

- À l'aide de la deuxième loi de Newton, déterminer les équations horaires de la vitesse du drone et de sa position le long de l'axe (Oy) .
- Au bout de combien de temps le drone touche-t-il le sol ?
- Quelle est la vitesse atteinte au moment de l'impact ?



Données

- Norme du champ de pesanteur terrestre, supposé uniforme, à la surface de la Terre : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$
- Pour toutes les situations étudiées dans le référentiel terrestre, ce dernier sera considéré comme galiléen.
- Constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
- Charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Constante de Coulomb : $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$

29 Calculer les normes des forces suivantes.

- Le poids d'un vélo de masse $m = 8,50$ kg sur Terre.
- La force électrostatique exercée par une particule de charge électrique $q_1 = 2,40 \times 10^{-18} \text{ C}$ sur une particule de charge électrique $q_2 = -4,81 \times 10^{-19} \text{ C}$ séparées de $d = 3,50 \times 10^{-11} \text{ m}$.

33 Une pierre de curling de masse $m = 18,0$ kg est lancée sur la glace. Les frottements exercés par la glace et l'action de l'air sont négligeables.



a. Faire le bilan des forces s'appliquant sur le solide une fois lancé.

Les schématiser sans souci d'échelle.

b. En utilisant une des lois de Newton, calculer la norme de chacune de ces forces.

c. Quelle est la nature du mouvement de la pierre ?

35 Un satellite terrestre de masse $m_s = 200 \times 10^3$ kg est en orbite autour de la Terre à une altitude $h = 250$ km.

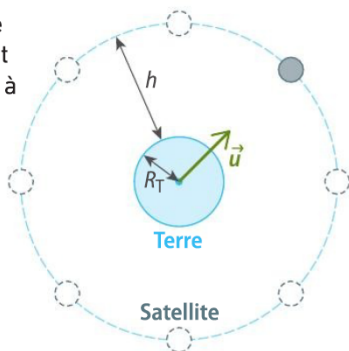
Données

- Rayon terrestre : $R_T = 6\,378$ km
- Masse de la Terre : $m_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg

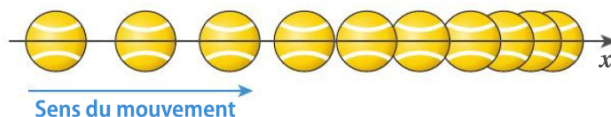
a. Décrire le mouvement du satellite dans le référentiel géocentrique.

b. Faire le bilan des forces exercées sur le satellite en précisant leur direction, leur sens et leur norme.

c. En déduire la norme, le sens et la direction de l'accélération du satellite.



36 Une balle de tennis de masse $m = 57$ g roule sur le sol horizontal. L'équation horaire de sa position, le long d'un axe (Ox) est $x(t) = -2,0t^2 + 8,0t$, où x est exprimé en mètres et t en secondes.



a. Déterminer les équations horaires de la vitesse de la balle et de son accélération le long de l'axe (Ox) .

b. Qualifier le mouvement de la balle.

c. À l'aide de la deuxième loi de Newton, calculer la norme de la force de frottement exercée sur la balle.

40 Voiture en panne

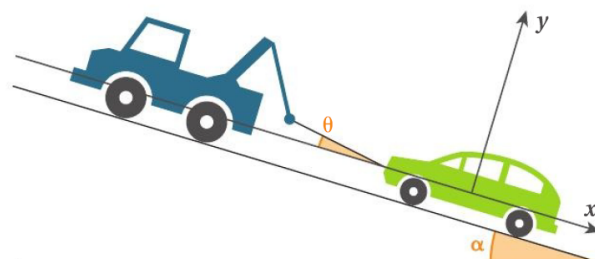
Schématiser une situation • Utiliser un modèle

1. Une voiture de masse $m = 1\,250$ kg est tombée en panne. Elle est à l'arrêt dans une rue de pente 30% , soit un angle $\alpha = 16,7^\circ$.

a. Faire le bilan des forces s'exerçant sur la voiture. Les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.

b. Appliquer la première loi de Newton pour déterminer la norme de chacune des forces.

2. Une dépanneuse vient en aide à la voiture et la tracte à vitesse constante à l'aide d'un câble formant un angle $\theta = 10,0^\circ$ avec la route. La force de tension du câble a pour norme $T = 6,60 \times 10^3$ N.

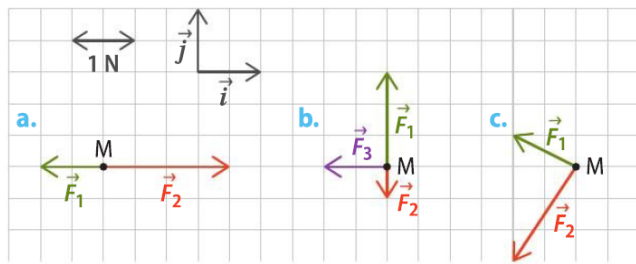


Déterminer les normes de la réaction normale du sol sur la voiture et de la force de frottement de la route qu'elle subit, opposée au mouvement.

46 Coordonnées d'un vecteur accélération

Exploiter un graphique • Utiliser un modèle

On représente les forces exercées sur un point M de masse $m = 1,0 \text{ kg}$ dans trois situations distinctes :



- Déterminer les coordonnées du vecteur accélération dans chacune de ces situations.

47 Descente en luge

Schématiser une situation • Utiliser un modèle

Julien descend une pente enneigée en luge, d'angle $\theta = 17,0^\circ$. Il se laisse glisser du sommet de la pente, c'est-à-dire que sa vitesse initiale est nulle. Il arrive en bas de la pente, après avoir parcouru $d = 100 \text{ m}$, avec une vitesse v_1 non nulle.

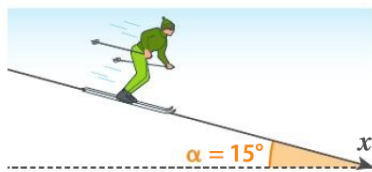
La masse totale du système {Julien + luge} vaut $80,0 \text{ kg}$. Les frottements exercés par la neige sur le système seront considérés comme constants et de norme $f = 50,0 \text{ N}$.

- Faire le bilan des forces exercées sur le système. Les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.
- Déterminer les équations horaires de la vitesse et de la position du système.
- À quel instant t_1 Julien arrive-t-il en bas de la pente ? Quelle est la vitesse v_1 atteinte ?

48 Au ski

Utiliser un modèle • Effectuer un calcul

Un skieur de masse $m = 80 \text{ kg}$ dévale une piste formant un angle $\alpha = 15^\circ$ avec l'horizontale. Ayant une vitesse $v_0 = 9,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, le skieur effectue un chasse-neige pour s'arrêter. Il est à l'arrêt complet au bout de $\Delta t = 3,0 \text{ s}$.



- Au cours de la manœuvre en chasse-neige, le vecteur accélération est supposé constant. Déterminer sa direction, son sens et sa norme.
- À l'aide de la deuxième loi de Newton, déterminer la norme de la force de frottement.

50 Ascension d'un super héros

BAC

Exploiter un énoncé • Effectuer un calcul

Le héros de bande dessinée Rocketeer utilise un réacteur dorsal pour voler. L'éjection de gaz exerce sur le héros une force verticale et orientée vers le haut, appelée force de poussée. On étudie le système {Rocketeer + équipement} de masse $m = 120 \text{ kg}$ dont on néglige la variation de masse (due à l'éjection des gaz). Initialement immobile, le système connaît une ascension durant $\Delta t = 3,0 \text{ s}$.



Les réacteurs dorsaux sont aujourd'hui disponibles, même si on n'est pas un super héros.

- Déterminer la valeur minimale de la force de poussée assurant le décollage du super héros.
- On suppose la force de poussée de norme $1,66 \times 10^3 \text{ N}$. Déterminer la norme de l'accélération du système.
- En déduire les équations horaires de la vitesse et de la position sur un axe vertical ascendant.
- En déduire l'altitude y_1 et la vitesse v_1 atteintes à la fin de l'ascension.

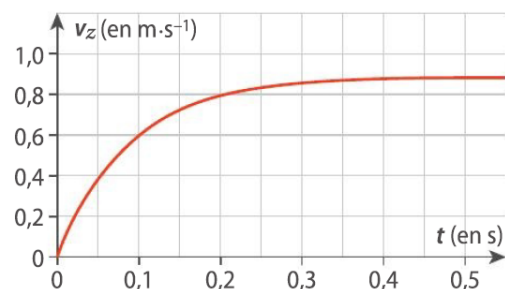
Adapté du sujet de Bac Amérique du Nord, 2015.

59 Chute dans un fluide visqueux

Effectuer un calcul • Exploiter un graphique

Une bille de masse $m = 2,0 \text{ g}$ est en chute verticale dans un fluide visqueux. On modélisera l'action du fluide sur la bille par une force de frottement $\vec{f} = -k\vec{v}$, où \vec{v} est la vitesse de la bille dans le référentiel du fluide et k une constante. La bille est lâchée sans vitesse initiale à l'instant $t = 0 \text{ s}$.

- Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la vitesse \vec{v} de la bille. La mettre sous la forme $\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\tau}(\vec{v} - \vec{v}_\ell)$ en précisant les expressions de τ et \vec{v}_ℓ .
 - En déduire que $\vec{v} = \vec{v}_\ell(1 - e^{-t/\tau})$.
- L'enregistrement du mouvement de la bille donne la courbe suivante pour la coordonnée v_z de la bille sur un axe (Oz) vertical orienté vers le bas.



- Déterminer graphiquement τ et v_ℓ .
- En déduire la valeur du coefficient k et son unité.

64 Décollage de la fusée Ariane 5

La propulsion de la fusée Ariane 5 est assurée par :

- un étage principal cryotechnique (EPC) constitué du moteur Vulcain, de puissance transmise à la fusée de l'ordre de 10 MW en moyenne au cours des deux premières secondes du décollage ;
- deux boosters (étages d'accélération à poudre EAP) qui contribuent à environ 90 % de la puissance totale transmise à la fusée au début du décollage.

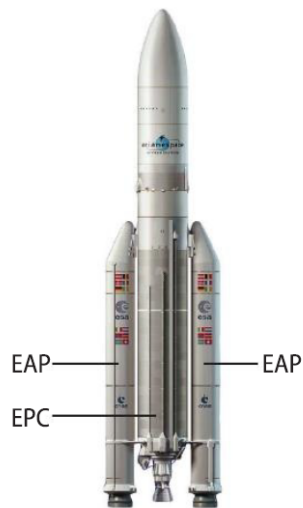


Figure 1 Représentation d'un modèle de la fusée Ariane 5 (d'après cnes.fr).

Le but de cet exercice est de vérifier certaines des caractéristiques de la fusée Ariane 5 à partir d'une chronophotographie de son décollage (**figure 2**).

Données

- Norme du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Débit massique d'éjection de gaz du moteur Vulcain : $270 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$
- Débit massique d'éjection de gaz de chaque booster : $1,8 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$

Caractéristiques de la fusée Ariane 5 :

- Hauteur de la fusée : 52 m
- Masse au décollage : 750 à 780 tonnes
- Poussée : 12 000 à 13 000 kN

La poussée, qui s'exprime en kilonewtons (kN), est une action qui s'exerce sur la fusée. C'est l'action de réaction des gaz éjectés au cours de la combustion du carburant. Au décollage, cette action est modélisée par une force verticale et orientée vers le haut.

Pour faciliter les mesures, les différentes images de la fusée ont été décalées horizontalement les unes par rapport aux autres.

L'axe vertical a pour origine la base de la fusée. L'image 1 de la **figure 2** précise l'endroit de la fusée qui sur l'axe (Oy) est notée y .

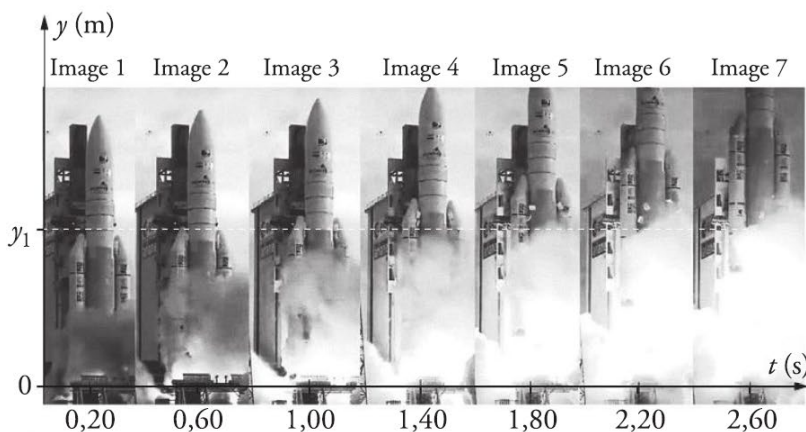
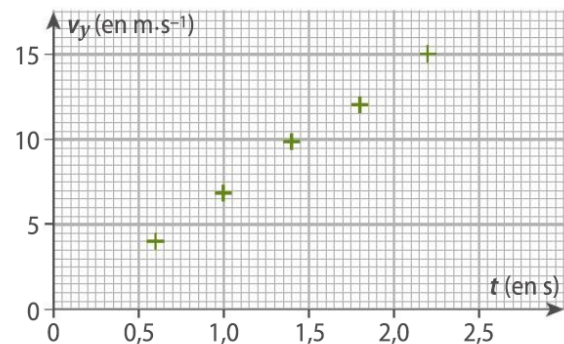


Figure 2 Chronophotographie du début du décollage d'Ariane 5.

L'étude donne les résultats suivants.

Image	t (en s)	y (en m)	v_y (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1	0,20	$y_1 = 30,1$	
2	0,60	31,5	v_2
3	1,00	33,3	6,8
4	1,40	36,9	9,6
5	1,80	y_5	12
6	2,20	46,5	15
7	2,60	52,9	

1. Calculer la masse des gaz éjectés pendant la durée de l'étude, soit 2,40 s. La comparer à la masse au décollage de la fusée. Commenter.
2. Estimer, à l'aide de la **figure 2**, la valeur de y_5 .
3. On donne la représentation graphique de l'évolution de la vitesse de la fusée au cours du temps :



- 3.1. Estimer, à l'aide du tableau, la valeur de v_2 . Vérifier que ce résultat est cohérent avec le graphique.
- 3.2. Montrer que l'accélération de la fusée pendant la durée de l'étude est proche de $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- 3.3. Préciser, en justifiant, la direction et le sens du vecteur accélération de la fusée.
4. Faire un schéma de la fusée où l'on représentera les forces s'appliquant sur la fusée qui vient de quitter le sol.
5. À partir des résultats précédents, estimer la norme de la force de poussée. Commenter.

Adapté du sujet de Bac Métropole, 2019.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1. Utiliser le débit massique total d'éjection sans oublier qu'il y a deux boosters.
2. On attend des mesures sur la chronophotographie : il faut donc connaître son échelle.
- 3.1. La vitesse s'obtient à l'aide des ordonnées des positions proches.
- 3.2. À quoi correspond l'accélération sur le graphique ?