

V. Forces ; applications des lois de Newton

Dr. Yves Revaz

2025

EPFL

Plan du cours

- I - Cinématique
- II - Référentiel accélérés
- III - Lois de Newton
- IV - Balistique – effet d'une force constante et uniforme
- V - Forces ; application des lois de Newton
- VI - Travail, Energie, principes de conservation
- VII - Chocs, systèmes de masse variable
- VIII - Oscillateur harmonique
- IX - Moment cinétique ; Gravitation
- X - Solide indéformable
- XI - Application du solide indéformable

Table des matières

V - 1 Réaction d'un support

V - 2 Forces de frottement secs

V - 3 Roulement d'une roue sans glissement

V - 4 Frottements fluides

V - 5 Tension dans une corde

V - 6 Force de rappel d'un ressort

V - 7 Poussée d'Archimède

V - 1. Réaction d'un support

Lorsqu'un corps est posé sur un support, **les atomes/molécules** des deux solides se rapprochent. Ils commencent à avoir une interaction notable.

V - 1. Réaction d'un support

Lorsqu'un corps est posé sur un support, **les atomes/molécules** des deux solides se rapprochent. Ils commencent à avoir une interaction notable.

La force en jeu est la force **électromagnétique**. Comme il serait bien trop complexe de la décrire exactement, on modélise son effet par des forces phénoménologiques : **réaction du support et frottements**.

V - 1. Réaction d'un support

Lorsqu'un corps est posé sur un support, **les atomes/molécules** des deux solides se rapprochent. Ils commencent à avoir une interaction notable.

La force en jeu est la force **électromagnétique**. Comme il serait bien trop complexe de la décrire exactement, on modélise son effet par des forces phénoménologiques : **réaction du support et frottements**.

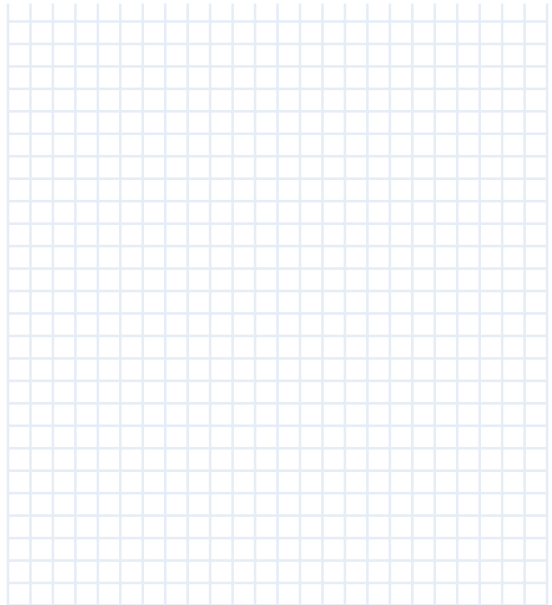
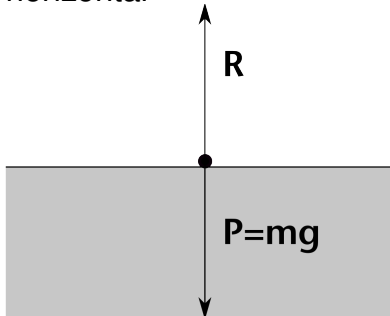
La **réaction** correspond à la partie répulsive des noyaux des atomes/molécules qui ne peuvent pas trop se rapprocher (répulsion entre *nuages* électroniques).

La réaction est **normale** au support (perpendiculaire) usuellement notée \vec{R} ou \vec{N} . Elle est toujours dirigée du support vers l'objet.

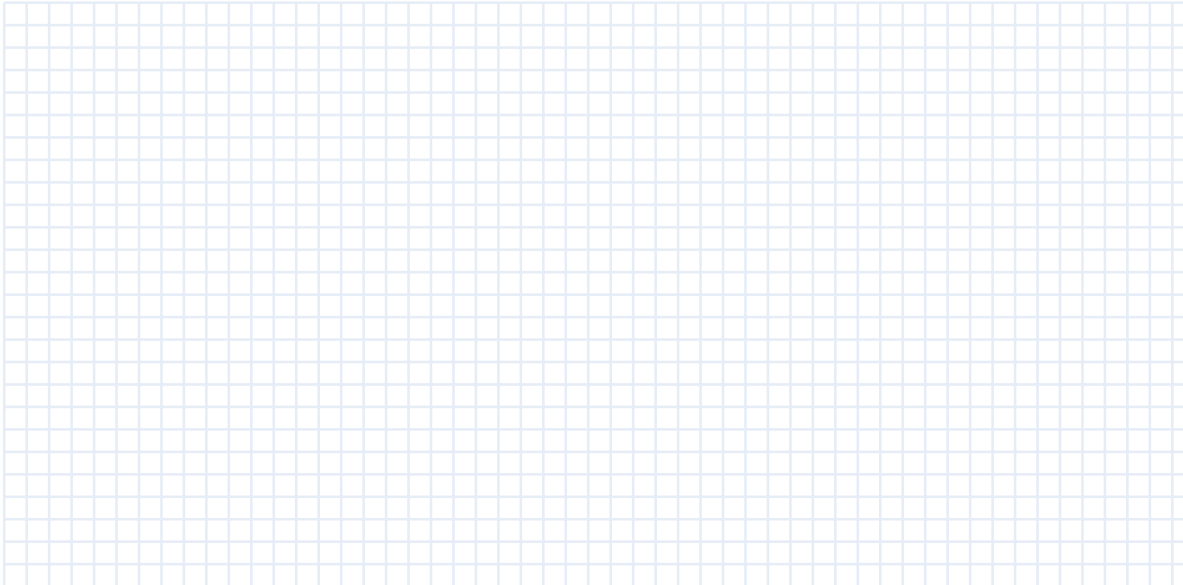
On l'obtient en faisant l'hypothèse (raisonnable) que les corps étant des solides indéformables, l'objet ne va pas rentrer dans le support.

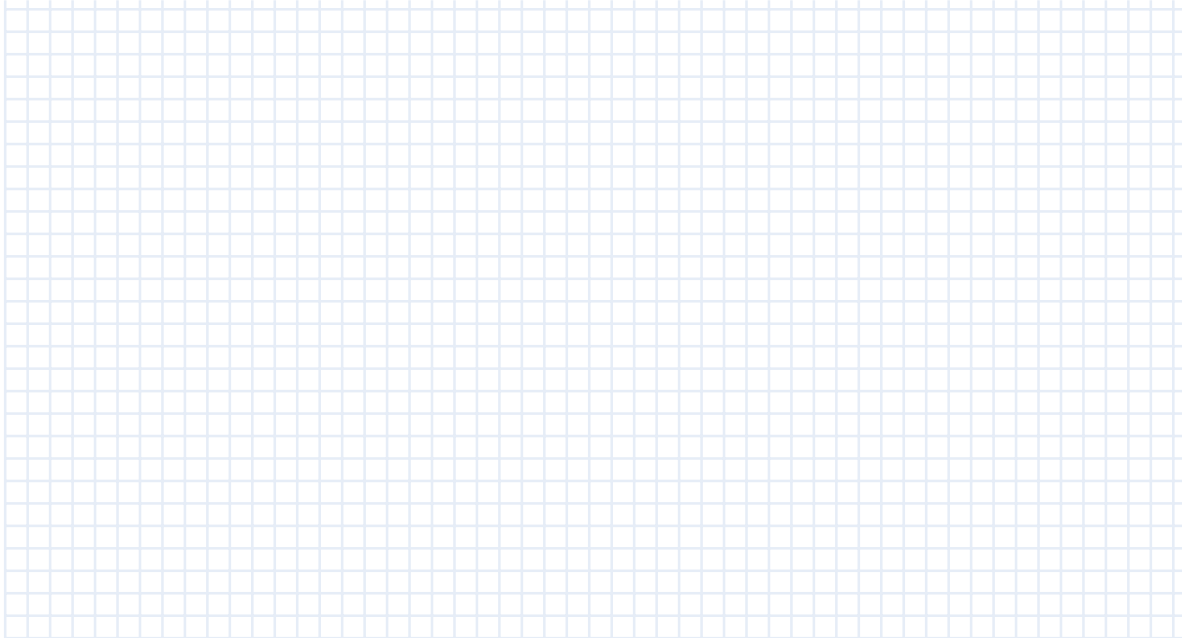
Exemple : poids et réaction du support

Masse m sur un support horizontal



Masse m sur un support incliné





Variation de l'angle d'inclinaison :

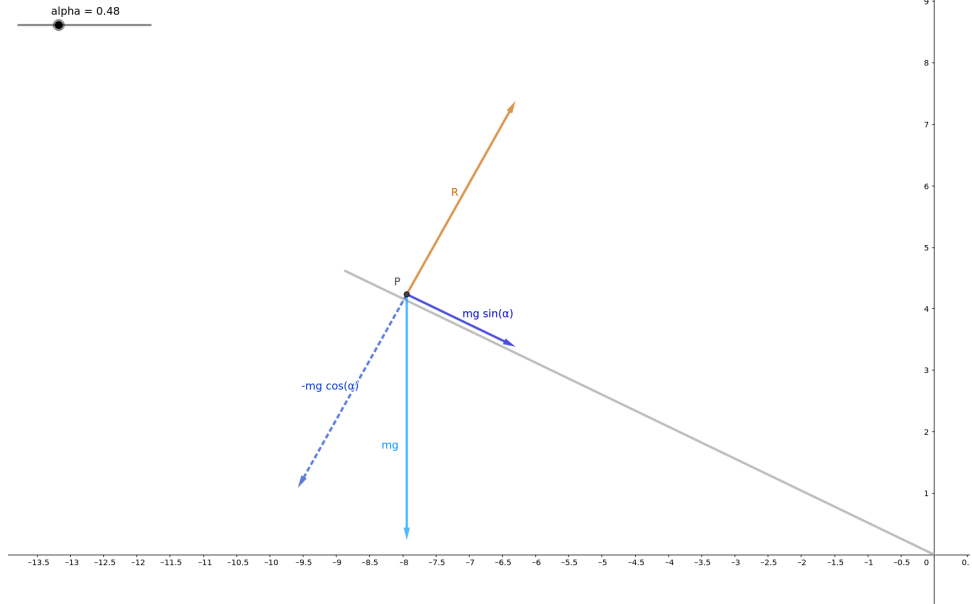


Table des matières

- V - 1 Réaction d'un support
- V - 2 Forces de frottement secs
- V - 3 Roulement d'une roue sans glissement
- V - 4 Frottements fluides
- V - 5 Tension dans une corde
- V - 6 Force de rappel d'un ressort
- V - 7 Poussée d'Archimède

V - 2 Forces de frottement secs

Les frottements sont aussi une manifestation **d'interactions électromagnétiques** complexes.

C'est une simplification par un **modèle phénoménologique**.

V - 2 Forces de frottement secs

Les frottements sont aussi une manifestation **d'interactions électromagnétiques** complexes.

C'est une simplification par un **modèle phénoménologique**.

Un frottement s'oppose au mouvement.

V - 2 Forces de frottement secs

Les frottements sont aussi une manifestation **d'interactions électromagnétiques** complexes.

C'est une simplification par un **modèle phénoménologique**.

Un frottement s'oppose au mouvement.

On distinguera deux types de frottements

- ▶ **Frottements secs** (d'un solide sur un autre)
- ▶ **Frottements fluides ou visqueux**, ils ont lieu dans un fluide (liquide, gaz...)

Frottement secs : expériences

La force de frottement ne dépend que de la réaction du support et du type de surfaces en contact, mais **ni de l'aire de contact apparent, ni de la vitesse.**

Frottement secs : expériences

La force de frottement ne dépend que de la réaction du support et du type de surfaces en contact, mais **ni de l'aire de contact apparent, ni de la vitesse.**

Les frottements secs se comportent différemment selon que l'objet est immobile ou en mouvement.

La force de frottement **est plus faible** dès que le corps bouge.

Deux formes de frottements secs

Deux formes de frottements secs

1) Quand le corps est immobile : **frottements statiques**

$\sum \vec{F} = \vec{0}$, donc la force de frottement \vec{F}_F **compense exactement** la force qui tente de mettre l'objet en mouvement, jusqu'à une *valeur limite*.

Deux formes de frottements secs

1) Quand le corps est immobile : **frottements statiques**

$\sum \vec{F} = \vec{0}$, donc la force de frottement \vec{F}_F **compense exactement** la force qui tente de mettre l'objet en mouvement, jusqu'à une *valeur limite*.

Tant que $F_F \leq \mu_s R$, **le corps ne bouge pas**. μ_s coefficient de frottement statique.

Deux formes de frottements secs

1) Quand le corps est immobile : **frottements statiques**

$\sum \vec{F} = \vec{0}$, donc la force de frottement \vec{F}_F **compense exactement** la force qui tente de mettre l'objet en mouvement, jusqu'à une *valeur limite*.

Tant que $F_F \leq \mu_s R$, **le corps ne bouge pas**. μ_s coefficient de frottement statique.

2) Quand le corps est en mouvement : **frottements dynamiques**

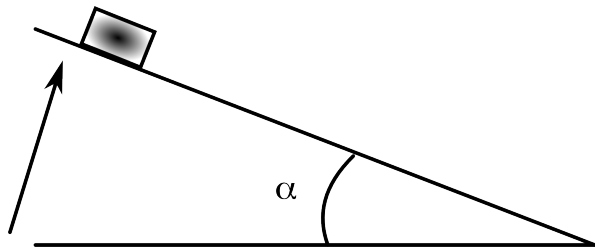
$F_F = \mu_c R$, μ_c coefficient de frottement cinétique ou dynamique.

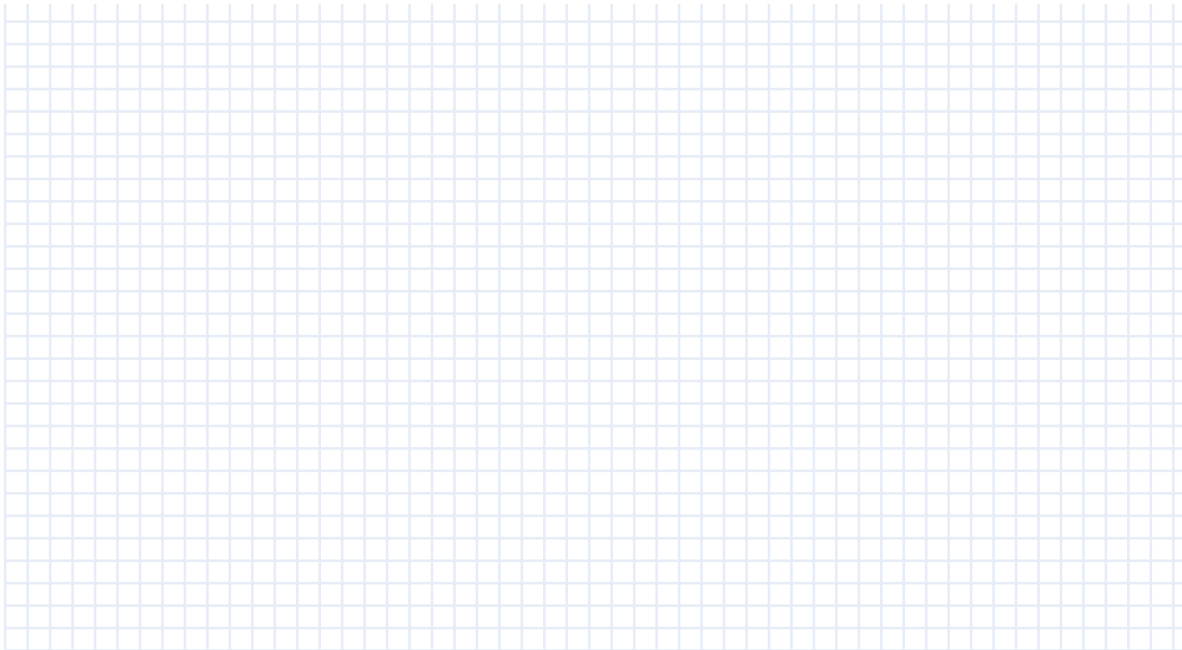
En général $\mu_s > \mu_c$.

Exemple :

Un bloc de masse m est posé en haut d'un plan incliné dont on peut varier l'inclinaison. On considère qu'il y a des frottements et que $\mu_s > \mu_c$. Initialement, le plan est horizontal, on l'incline doucement de plus en plus.

- 1) A quel angle est-ce que le bloc commence à glisser ?
- 2) Dès que le bloc "décroche" (commence à glisser), on cesse d'augmenter l'angle. Quelle est alors l'accélération du bloc ?





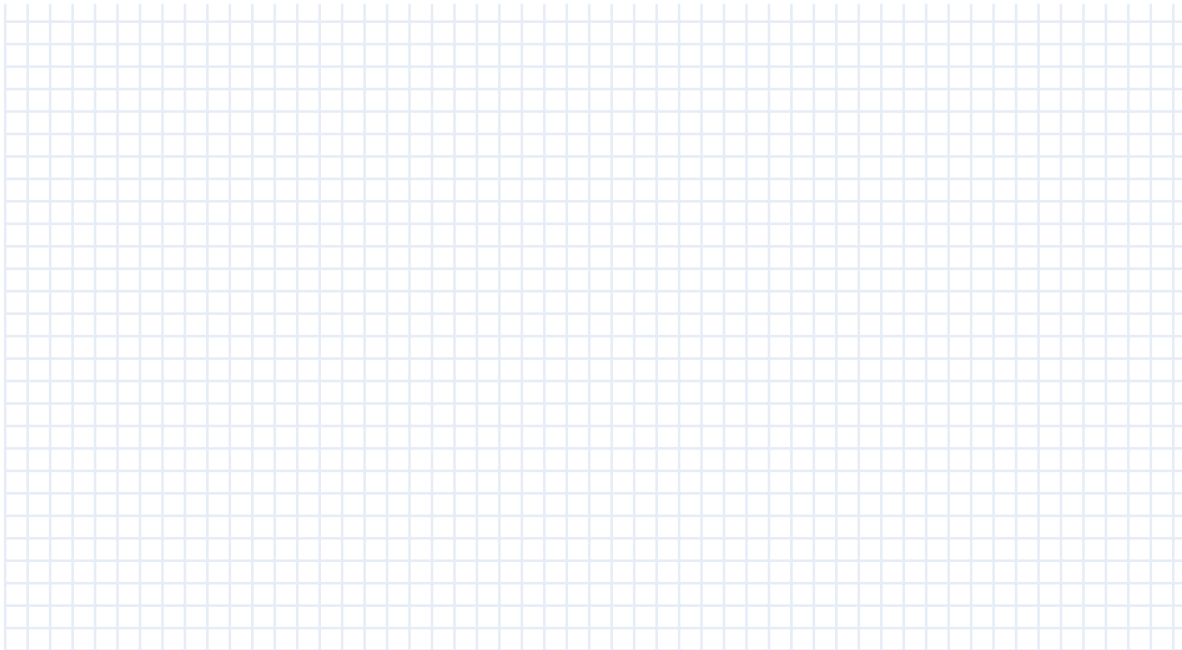
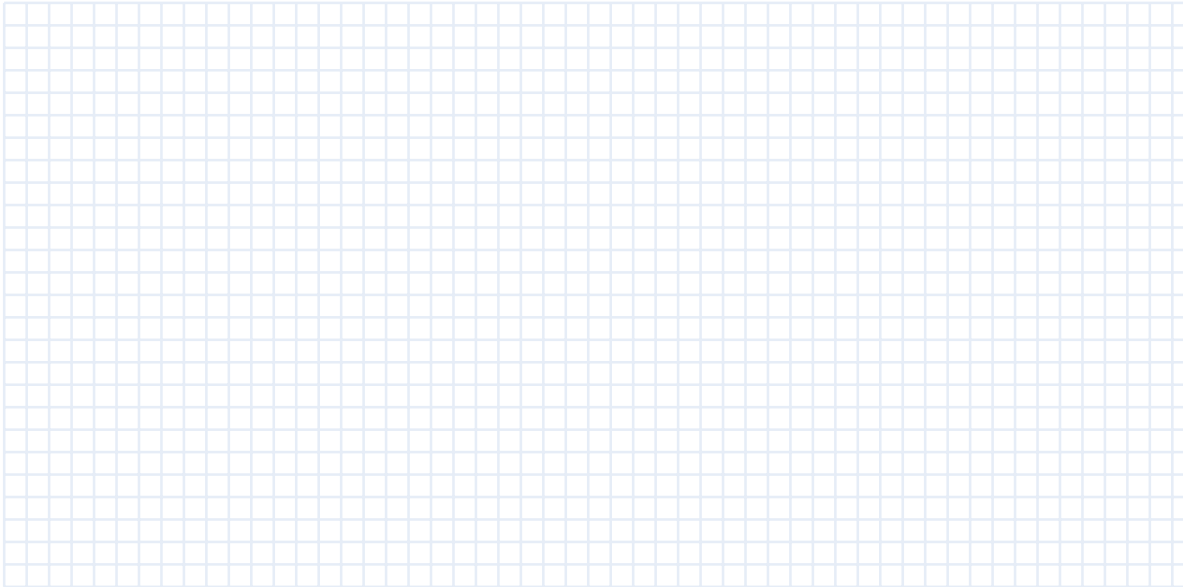


Table des matières

- V - 1 Réaction d'un support
- V - 2 Forces de frottement secs
- V - 3 Roulement d'une roue sans glissement
- V - 4 Frottements fluides
- V - 5 Tension dans une corde
- V - 6 Force de rappel d'un ressort
- V - 7 Poussée d'Archimède

V - 3 Roulement d'une roue sans glissement



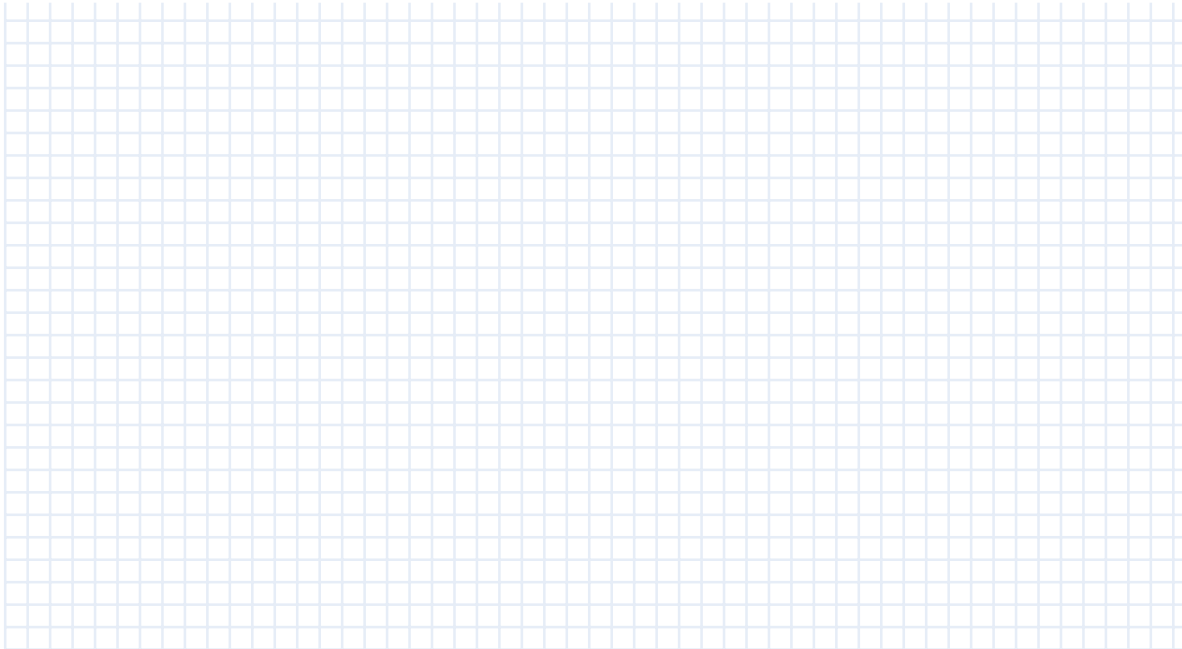


Table des matières

- V - 1 Réaction d'un support
- V - 2 Forces de frottement secs
- V - 3 Roulement d'une roue sans glissement
- V - 4 Frottements fluides
- V - 5 Tension dans une corde
- V - 6 Force de rappel d'un ressort
- V - 7 Poussée d'Archimède

V - 4 Frottements fluides

L'expérience nous montre que la force de frottement dépend de la **vitesse et de la géométrie de l'objet.**

- ▶ petite vitesse : régime d'écoulement laminaire
- ▶ grande vitesse : régime d'écoulement turbulent

Petite vitesse : régime d'écoulement laminaire

À petites vitesses la dépendance est linéaire :

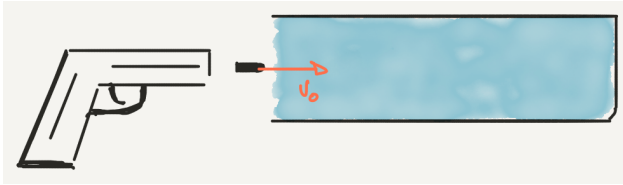
$$\vec{F}_F = -b_l \vec{v} = -b_l v \frac{\vec{v}}{v}$$

$b_l = K\eta$ avec η **coefficient de viscosité** du fluide et K , un facteur **dépendant de la forme de l'objet**.

Grande vitesse : régime d'écoulement turbulent

À grande vitesse, la dépendance est quadratique :

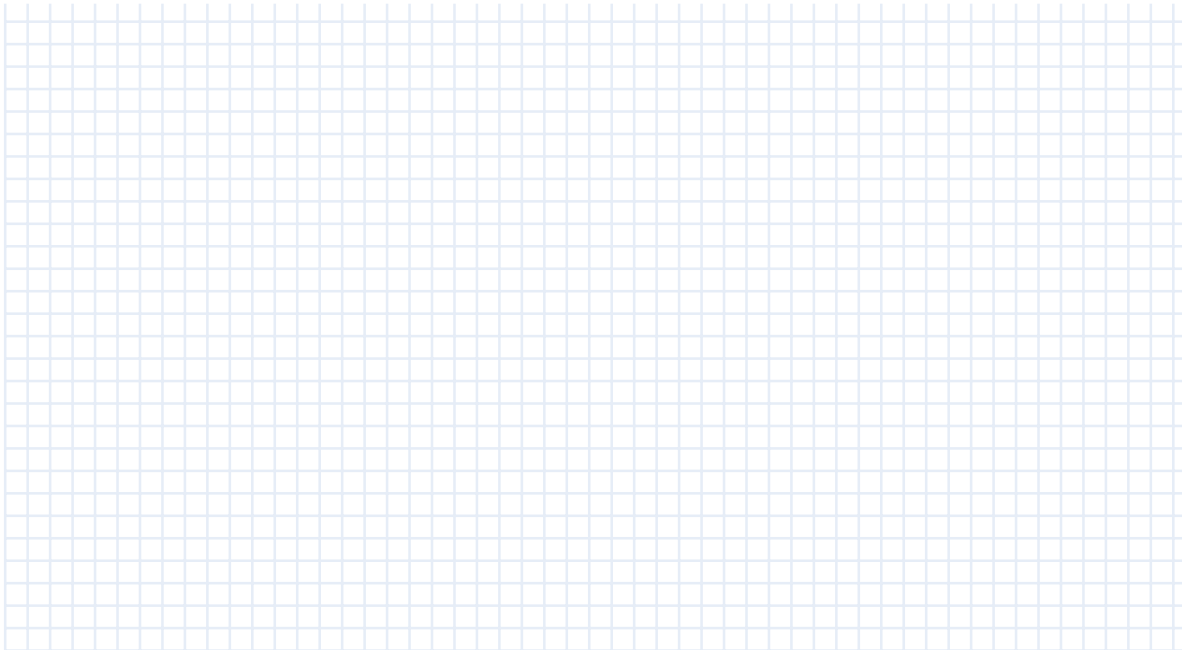
$$\vec{F}_F = -b_t v^2 \frac{\vec{v}}{v}$$

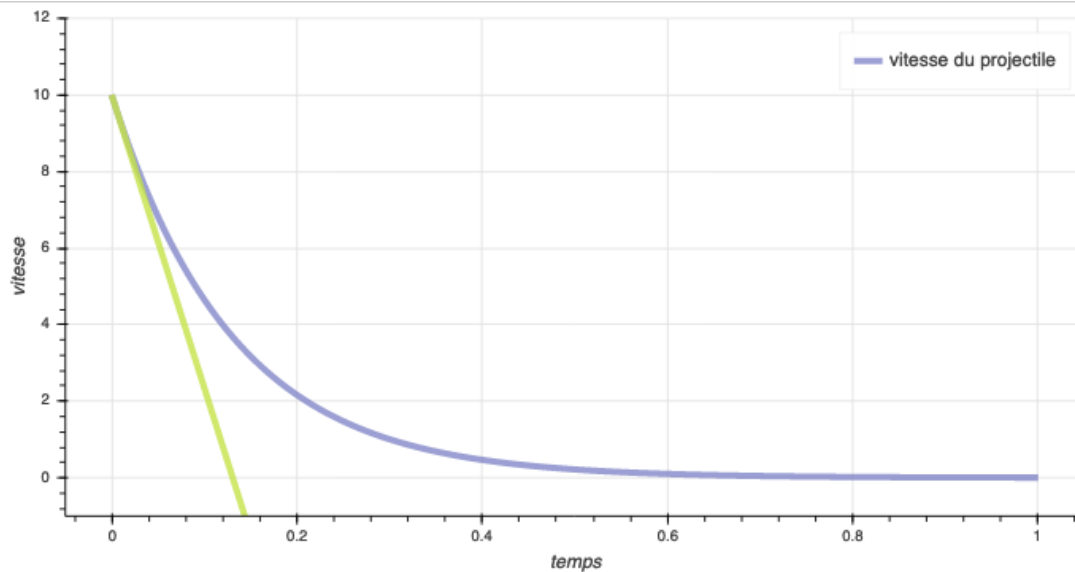


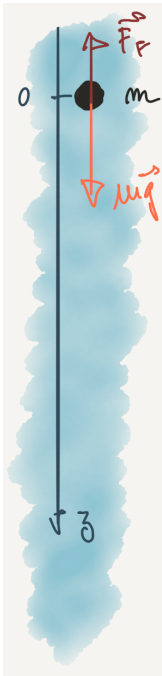
Un projectile arrive avec \vec{v}_0 dans un fluide de viscosité η . On appelle K le coefficient lié à la forme de la balle.

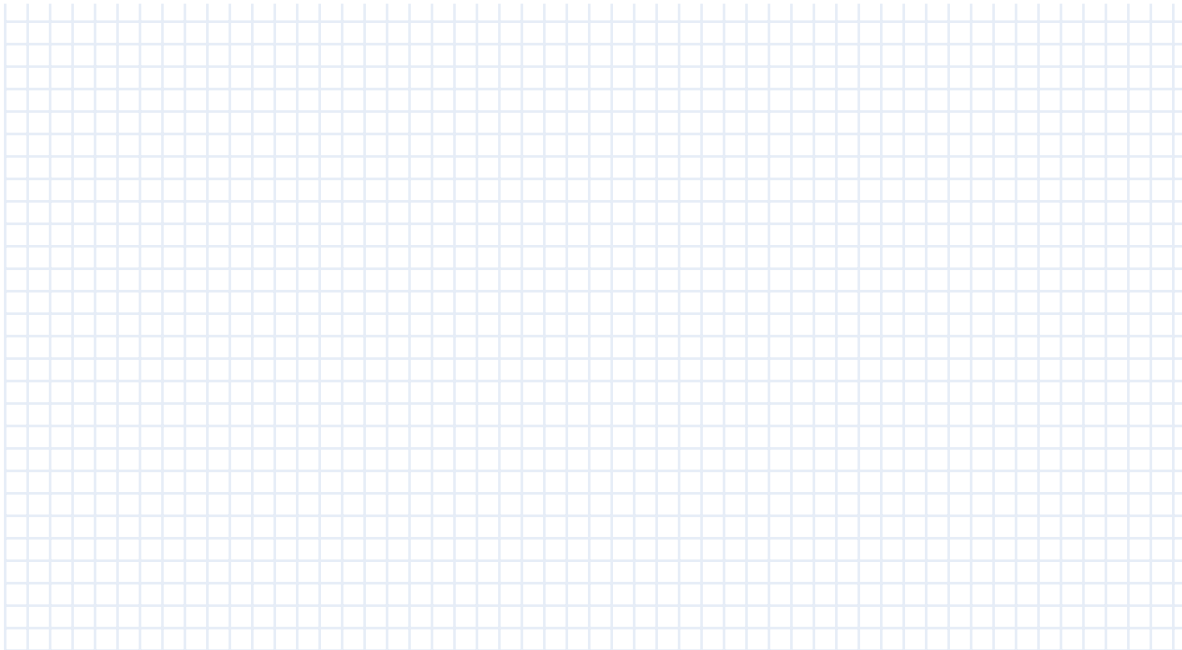
But : calculer $v(t)$



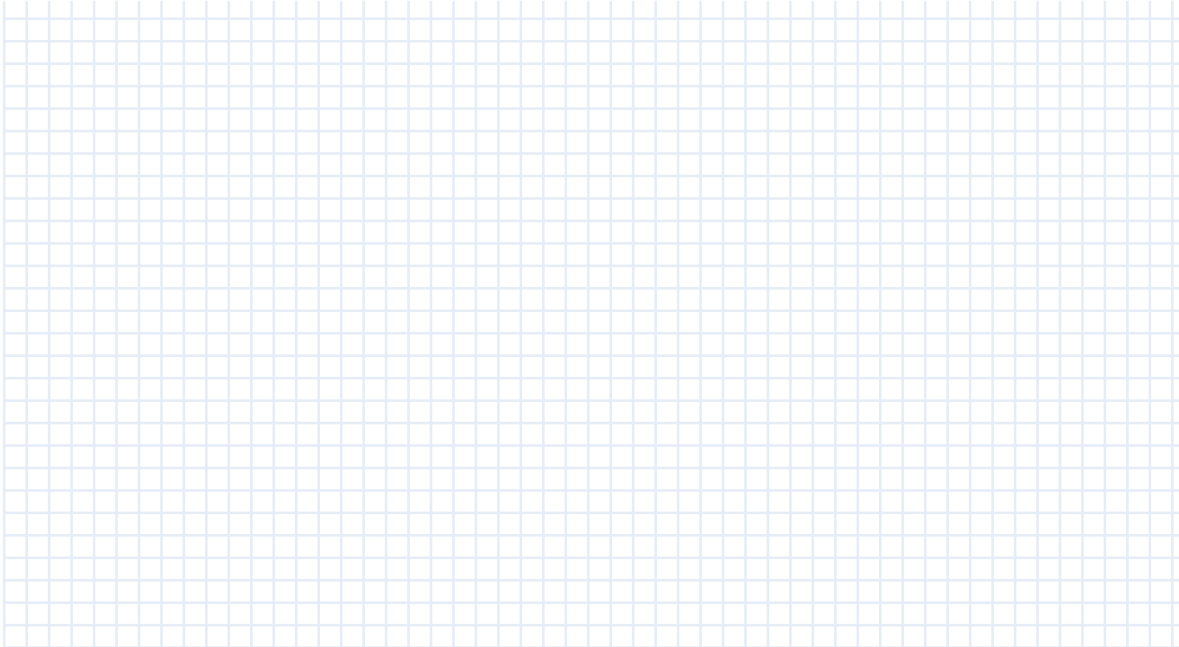


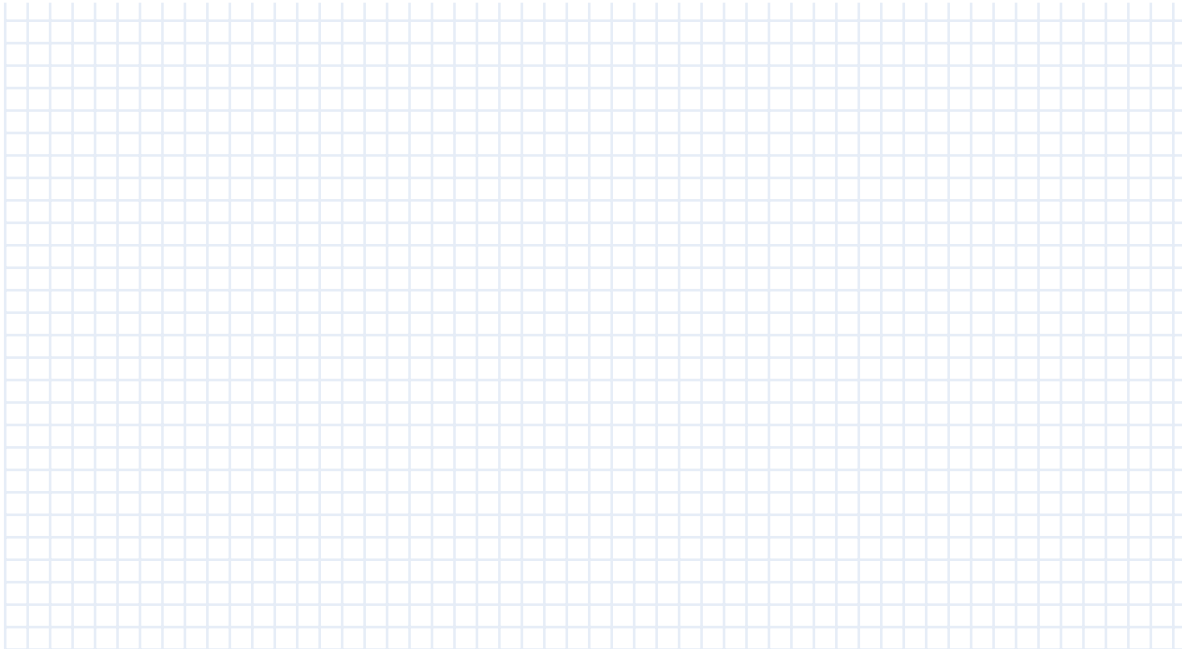




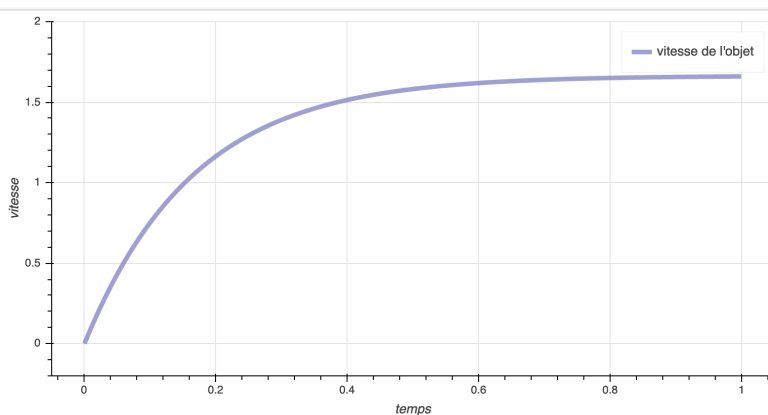


Vérification de la solution





$$v(t) = \frac{g}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$



masse : 0.10

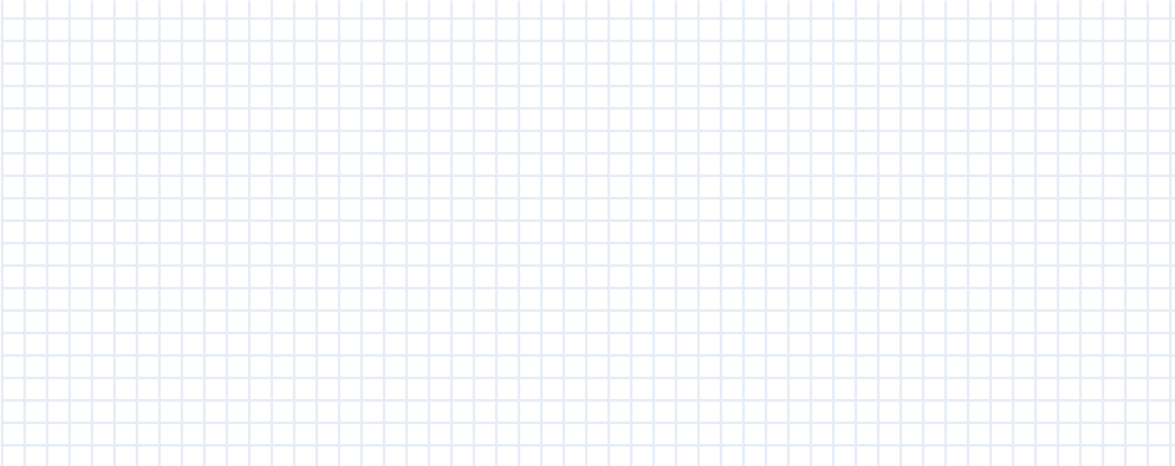
b_f : 0.60

Table des matières

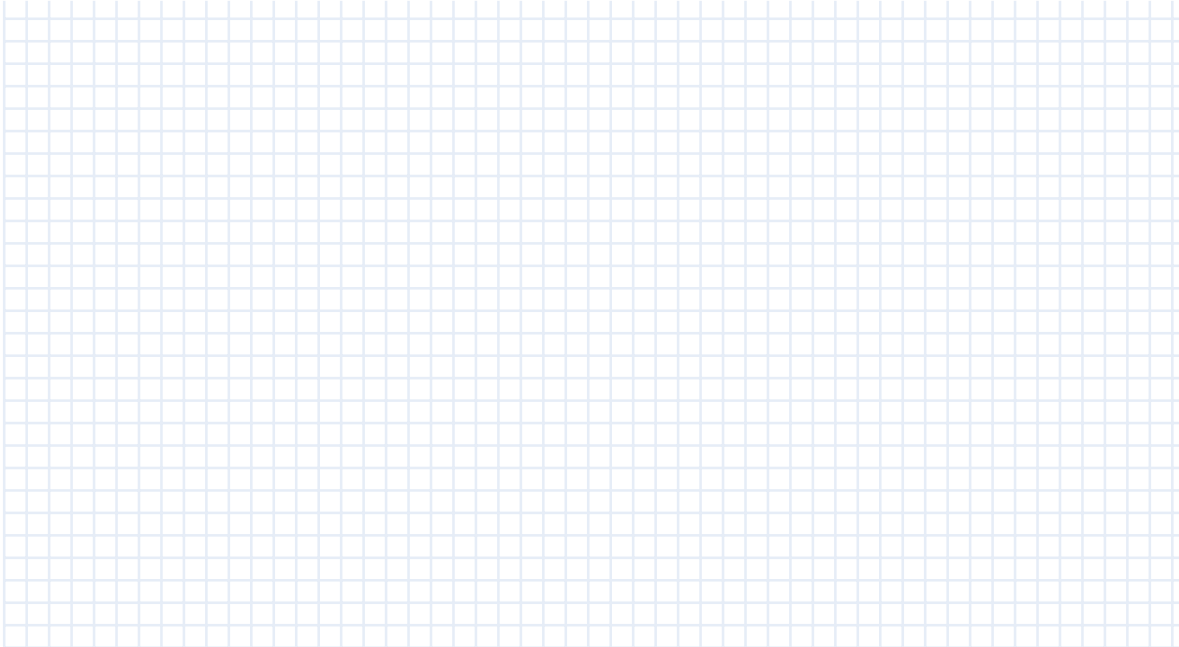
- V - 1 Réaction d'un support
- V - 2 Forces de frottement secs
- V - 3 Roulement d'une roue sans glissement
- V - 4 Frottements fluides
- V - 5 Tension dans une corde
- V - 6 Force de rappel d'un ressort
- V - 7 Poussée d'Archimède

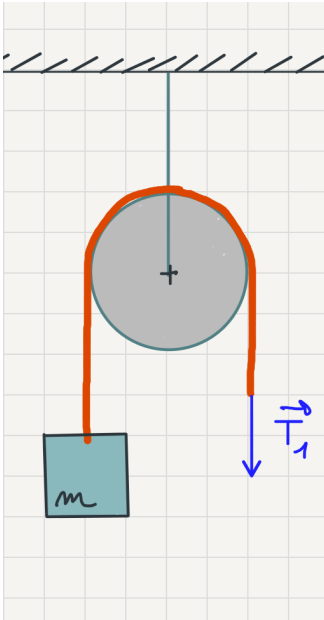
V - 5 Tension dans une corde

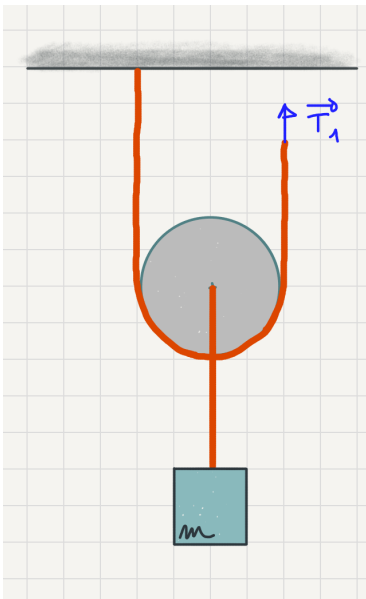
Une corde **sans masse, inextensible et tendue** transmet simplement les forces, en changeant éventuellement leur direction.



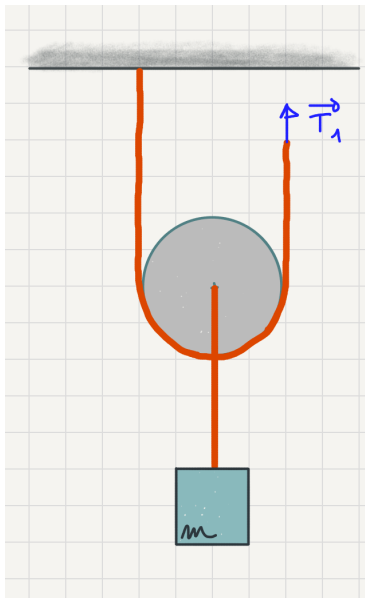
Transmission de la tension...



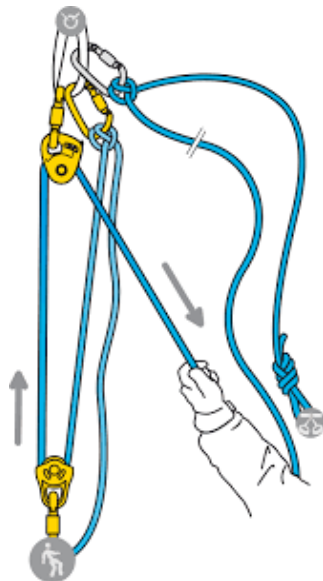




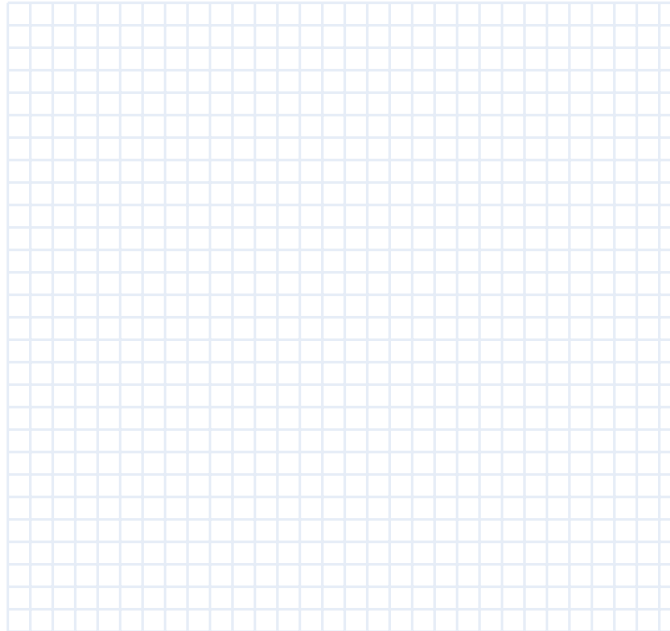
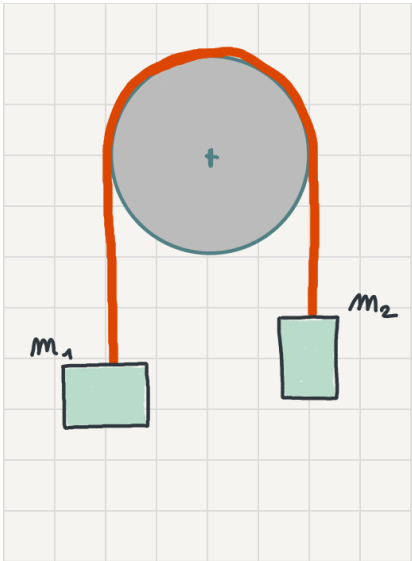
Accélération :



A large grid area for taking notes, corresponding to the 'Accélération :' label above it.



Exemple machine d'Atwood :



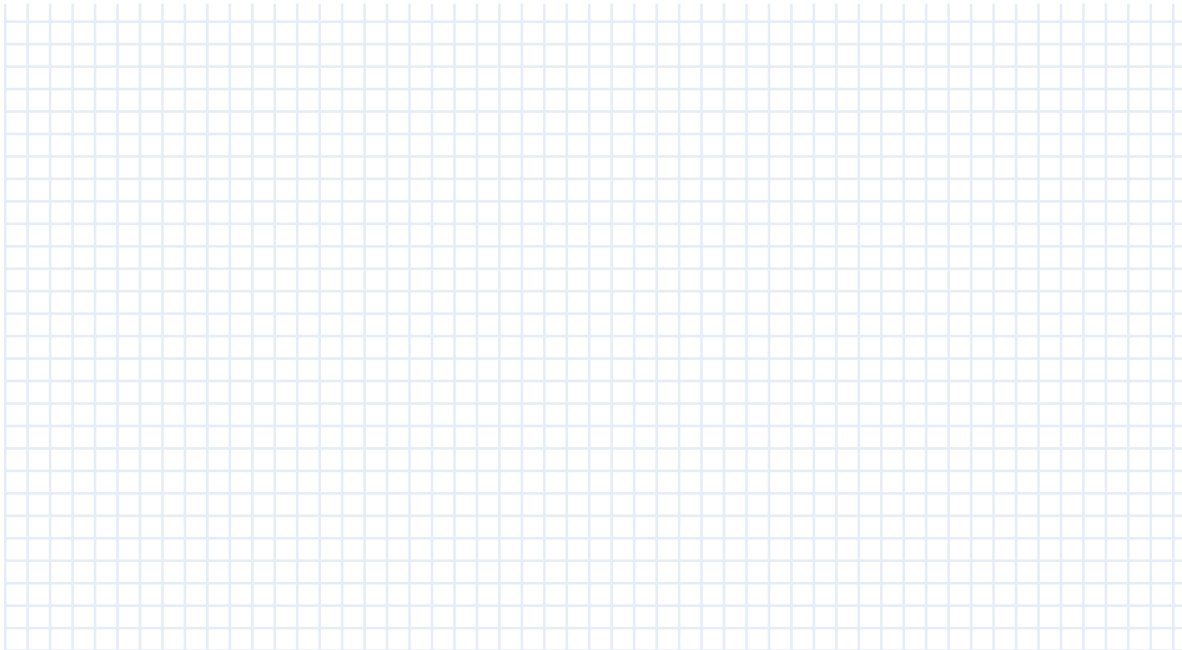
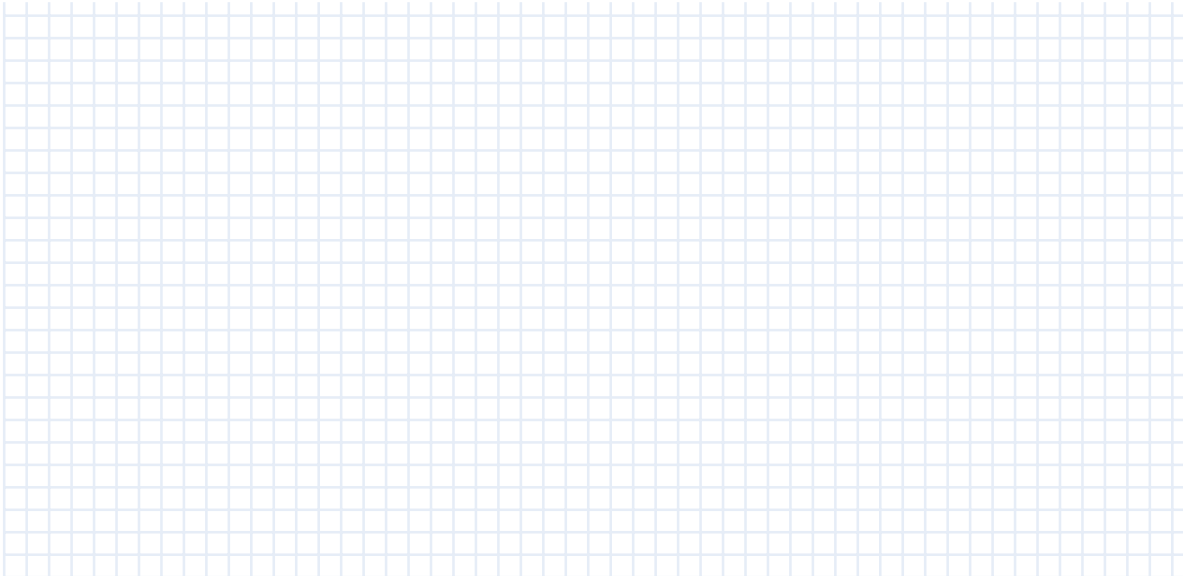


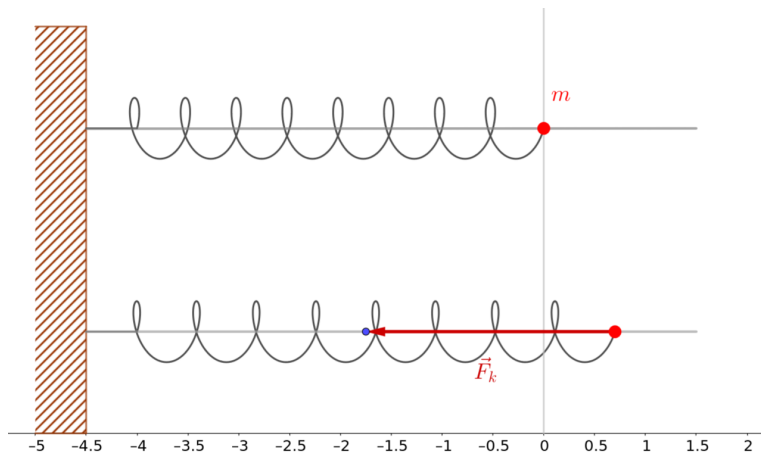
Table des matières

- V - 1 Réaction d'un support
- V - 2 Forces de frottement secs
- V - 3 Roulement d'une roue sans glissement
- V - 4 Frottements fluides
- V - 5 Tension dans une corde
- V - 6 Force de rappel d'un ressort
- V - 7 Poussée d'Archimède

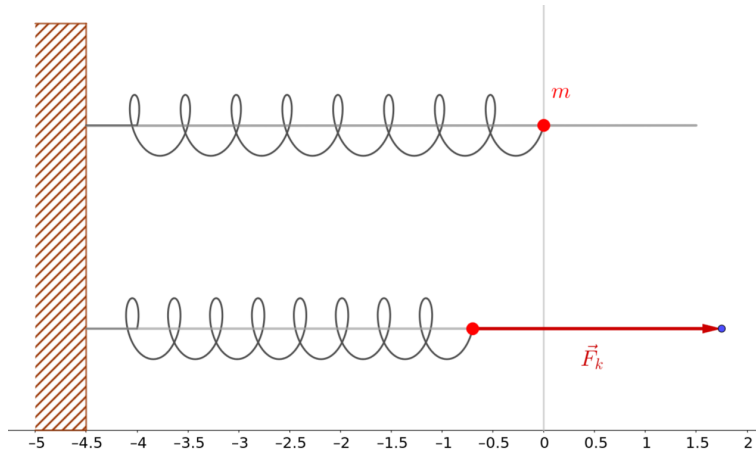
V - 6. Force de rappel d'un ressort



Dans le cas idéal (petites déformations réversibles), la force exercée par un ressort est **proportionnelle à sa variation de longueur. Loi de Hook.**



Dans le cas idéal (petites déformations réversibles), la force exercée par un ressort est **proportionnelle à sa variation de longueur. Loi de Hook.**



Cas d'un ressort accroché verticalement avec une masse suspendue

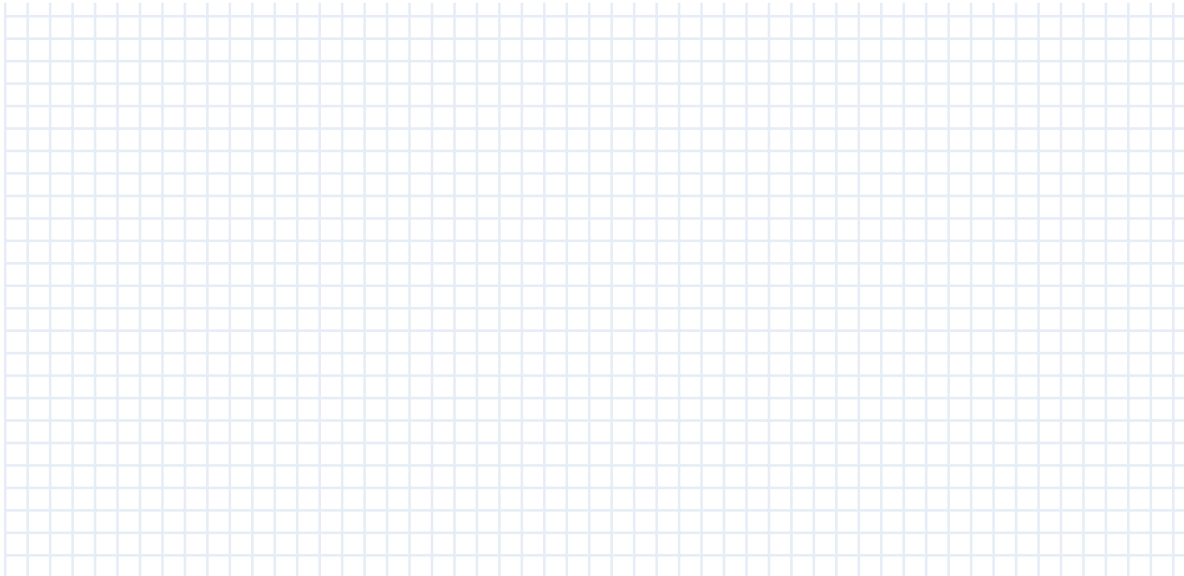
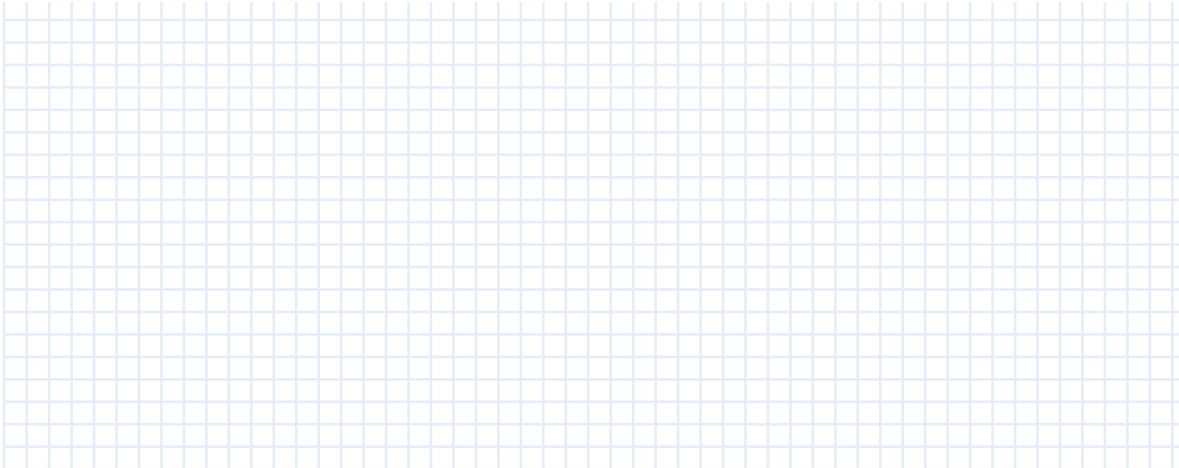


Table des matières

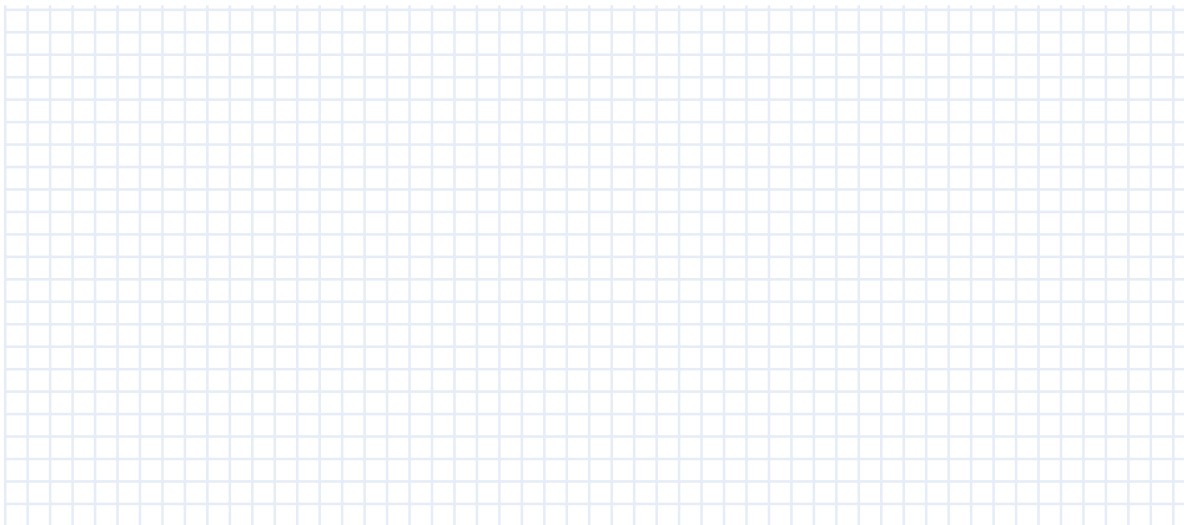
- V - 1 Réaction d'un support
- V - 2 Forces de frottement secs
- V - 3 Roulement d'une roue sans glissement
- V - 4 Frottements fluides
- V - 5 Tension dans une corde
- V - 6 Force de rappel d'un ressort
- V - 7 Poussée d'Archimède

V - 7 Poussée d'Archimède

Un corps immergé dans un fluide reçoit une poussée vers le haut
égale au poids du volume de fluide déplacé.



Un objet de masse m et volume V tombe dans un fluide visqueux de masse volumique ρ . On est dans le cas d'un régime laminaire. Quelle est sa vitesse limite ?



Ballon d'hélium dans un référentiel accéléré

